

ЗЕМЛЯ И

космонавтика
астрономия
геофизика

№ 6 (348)

НОЯБРЬ-ДЕКАБРЬ, 2022

ISSN 0044-3948

ВСЕЛЕННАЯ

**САМЫЙ БОЛЬШОЙ ГЛАЗ ВО ВСЕЛЕННОЙ
ТОЧКА ПРИОБРЕТАЕТ ФОРМУ,
или как работает
доплеровская томография
ТЕНИ ЧЕРНЫХ ДЫР:
поиск черной кошки в темном космосе**

«КУАФУ» ГОНИТСЯ ЗА СОЛНЦЕМ

ОБСЕРВАТОРИЯ ИНТЕГРАЛ: 20 ЛЕТ НАБЛЮДЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

ВАЛЕРИЙ АНАТОЛЬЕВИЧ РУБАКОВ: ПАМЯТИ КОЛЛЕГИ И ДРУГА

издательство
НАУКА
— 1727 —

Издательство «Наука» оказывает услуги:

- **СОЗДАНИЕ ОРИГИНАЛ-МАКЕТА**
редактирование
вёрстка
изготовление рисунков
- **ХУДОЖЕСТВЕННОЕ ОФОРМЛЕНИЕ**
- **ВСЁ КОМПЛЕКС ПОЛИГРАФИЧЕСКИХ УСЛУГ**
- **РАСПРОСТРАНЕНИЕ В МАГАЗИНАХ
«АКАДЕМКНИГА»**

Высокопрофессиональные специалисты «Науки»
готовы к сотрудничеству

naukapublishers.ru

Тел.: +7 (495) 276-7735

Реклама

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫЕ ЖУРНАЛЫ ТЕПЕРЬ ДОСТУПНЫ ВСЕМ



Уважаемые коллеги!

Открыта подписка для физических лиц
на номера 2023 г. научно-популярных журналов
«Земля и Вселенная», «Природа»,
«Энергия: экономика, техника, экология»

ЖУРНАЛ «ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ»

Стоимость годового комплекта (6 номеров) 1650 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7 (495) 276-77-35 (доб. 42-31)

E-mail: zevs@naukapublishers.ru

Шубинский пер., д. 6, стр. 1

ЖУРНАЛ «ПРИРОДА»

Стоимость годового комплекта (12 номеров) 3840 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7 (495) 276-77-35 (доб. 41-71)

E-mail: priroda@naukapublishers.ru

Шубинский пер., д. 6, стр. 1

ЖУРНАЛ «ЭНЕРГИЯ: ЭКОНОМИКА, ТЕХНИКА, ЭКОЛОГИЯ»

Стоимость годового комплекта (12 номеров) 3840 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7 (495) 362-07-82

E-mail: energy@iht.mpei.ac.ru

ул. Красноказарменная, 17а

**Журналы также можно приобрести в розницу
в магазинах «Академкнига» по следующим ценам:**

«Земля и Вселенная» — 310 руб.

«Природа» — 360 руб.

«Энергия: экономика, техника, экология» — 360 руб.

**Выпуски и статьи журналов в электронном
виде можно приобрести на сайте libnauka.ru**

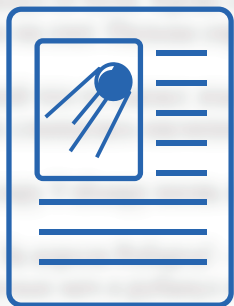


СТОИМОСТЬ ОДНОГО ВЫПУСКА/СТАТЬИ ЖУРНАЛА В ЭЛЕКТРОННОМ ВИДЕ, ИЗДАННОГО В 2023 ГОДУ

Журнал	Выпуск (руб.)	Статья (руб.)
«Земля и Вселенная»	255	90
«Природа»	315	90
«Энергия: экономика, техника, экология»	315	90

Подписаться можно в редакциях
указанных журналов.
Убедительная просьба связаться
с редакциями перед визитом.

**В случае возникновения вопросов можно также обращаться
в Управление по выпуску журналов ФГБУ «Издательство «Наука»:**
Тел.: +7 (495) 276-77-35 (доб. 43-01)
E-mail: journals@naukapublishers.ru



НАУКА

www.libnauka.ru

*Добро пожаловать
в электронную библиотечную систему
Издательства «Наука»!*

Электронная библиотечная система Издательства «Наука» – это простой и удобный доступ к огромной коллекции статей и книг, входящих в портфолио «Науки»

Электронная библиотечная система это:

- научная, научно-популярная и классическая литература, от статей до монографий
- оперативное обновление новинок благодаря тесной интеграции с редакционно-издательской системой «Науки»
- разветвленный тематический каталог
- простая и эффективная система поиска
- интуитивная и простая система оформления заказа и подписок
- прозрачная система статистики
- надежность доступа и стабильность работы

Реклама

Присоединяйтесь к миру «Науки»!

ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

№6 (348)
НОЯБРЬ-ДЕКАБРЬ, 2022

ISSN 0044-3948

космонавтика
астрономия
геофизика

Научно-популярный журнал
Российской академии наук
Издается под руководством
Президиума РАН
Выходит с января 1965 года
6 раз в год
«Наука»
Москва

На обложке:

Сибирский солнечный
радиотелескоп (ССРТ).
Снимок Евгения Фатеева.
См. стр. 14

В НОМЕРЕ:

Колонка главного редактора	3
НИКОНОВ А.С. Самый большой глаз во Вселенной	5
КОНОНОВ Д.А. Точка приобретает форму, или как работает доплеровская томография	28
ЦУПКО О.Ю. Тени черных дыр: поиск черной кошки в темном космосе	38

Обсерватории, институты

ГРЕБЕНЕВ С.А., СЮНЯЕВ Р.А. Обсерватория ИНТЕГРАЛ: 20 лет наблюдений и открытий	49
---	----

Космонавтика XXI века

ЛИСОВ И.А. «Куафу» гонится за Солнцем	65
---------------------------------------	----

In memoriam

САЖИН М.В., САЖИНА О.С. Валерий Анатольевич Рубаков: памяти коллеги и друга	74
--	----

История космонавтики

ВЕДЕШИН Л.А., ГЕРАСЮТИН С.А. Россия – США: 50 лет сотрудничества в космосе. Часть 2	79
--	----

Люди науки

ШАМАЕВ В.Г. Великий аттрактор информации. К столетнему юбилею Инны Сергеевны Щербиной-Самойловой (1922–2003)	93
ГЕРАСЮТИН С.А. Памяти Валерия Владимировича Полякова	101
Указатель статей и заметок, опубликованных в журнале «Земля и Вселенная» в 2022 году	112
Table of Content and Selected Abstracts	114

Earth&Universe: Astronomy, Geophysics, Cosmonautics
Bimonthly popular scientific magazine of the Russian Academy of Sciences & NAUKA Publishing.
Founded 1965.
Published by NAUKA Publishing, Profsoyuznaya Str., 90, 117997, Moscow, Russia.

Редакционная коллегия:

главный редактор
академик Л.М. ЗЕЛЕНЬИЙ,
летчик-космонавт
П.В. ВИНОГРАДОВ,
зам. главного редактора
кандидат филолог. наук
О.В. ЗАКУТНЯЯ,
доктор исторических наук
К.В. ИВАНОВ,
летчик-космонавт
А.Ю. КАЛЕРИ,
кандидат физ.-мат. наук
О.Ю. ЛАВРОВА,
доктор физ.-мат. наук
А.А. ЛУТОВИНОВ,
зам. главного редактора
доктор физ.-мат. наук
О.Ю. МАЛКОВ,
доктор физ.-мат. наук
И.Г. МИТРОФАНОВ,
академик И.И. МОХОВ,
член-корр. РАН
И.Д. НОВИКОВ,
доктор физ.-мат. наук
С.П. ПЕРОВ,
доктор физ.-мат. наук
К.А. ПОСТНОВ,
доктор физ.-мат. наук
М.В. РОДКИН,
научный директор
Московского планетария
Ф.Б. РУБЛЕВА,
член-корр. РАН
А.Л. СОБИСЕВИЧ,
член-корр. РАН
О.Н. СОЛОМИНА,
член-корр. РАН
В.А. СОЛОВЬЕВ,
академик
А.М. ЧЕРЕПАЩУК,
доктор физ.-мат. наук
В.В. ШЕВЧЕНКО,
член-корр. РАН
Б.М. ШУСТОВ

Editorial Board:

Editor-in-chief
Acad. Dr. Lev M. ZELENYI
Acad. Dr. Anatoly M. CHEREPASCHUK
Dr. Konstantin V. IVANOV
Pilot-cosmonaut Alexander Yu. KALERI
Dr. Olga Yu. LAVROVA
Dr. Alexander A. LUTOVINOV
Deputy Editor-in-chief
Dr. Oleg Yu. MALKOV
Dr. Igor G. MITROFANOV
Acad. Dr. Igor I. MOKHOV
RAS Corr.Member Dr. Igor D. NOVIKOV
Dr. Stanislav P. PEROV
Dr. Konstantin A. POSTNOV
Dr. Mikhail V. RODKIN
Faina B. RUBLEVA
Dr. Vladislav V. SHEVCHENKO
RAS Corr. Member Dr. Boris M. SHUSTOV
RAS Corr. Member Dr. Alexey L. SOBISEVICH
RAS Corr. Member Dr. Olga N. SOLOMINA
RAS Corr. Member Dr. Vladimir A. SOLOVYEV
Pilot-cosmonaut Pavel V. VINOGRADOV
Deputy Editor-in-chief
Dr. Olga V. ZAKUTNYAYA

Колонка главного редактора

Дорогие читатели, коллеги, друзья!

Как вы, наверное, уже заметили, с недавних пор мы ввели практику издания тематических выпусков журнала, посвященных какому-либо актуальному направлению современной космической науки и техники. Темы статей для этих номеров отбирают приглашенные редакторы – специалисты, активно работающие по выбранной для номера тематике. Очень многие читатели поддержали такую практику, благодаря которой выпуски журнала становятся более концентрированными и интересными. Для этого астрономического номера я с удовольствием на время передаю редакторское перо кандидату физико-математических наук Дмитрию Алексеевичу Кононову, научному сотруднику Института астрономии РАН и члену редакции журнала. От себя же хочу пожелать нашим читателям успешного завершения всех намеченных дел в уходящем трудном для всех 2022 году и успехов в наступающем 2023!



*Главный редактор журнала «Земля и Вселенная»
академик Лев Матвеевич Зелёный*

Мы живем в век удивительных технических достижений, которые, конечно, не обошли стороной и астрономию. Думаю, что среди аудитории нашего журнала нет тех, кто не слышал бы о таких астрономических инструментах, как гравитационные телескопы LIGO и Virgo, глобальный синтезированный радио-телескоп (РСДБ-сеть) Event Horizon Telescope, который в 2019 году представил первое изображение тени черной дыры в ядре галактики M87, недавно запущенный космический инфракрасный телескоп им. Джеймса Уэбба (James Webb). Их достижения были широко освещены не только в профессиональных изданиях, но и в общедоступной прессе. Кроме «разрекламированных» зарубежных инструментов, конечно, необходимо



также упомянуть российские проекты последнего десятилетия, такие как космический телескоп «Спектр-Р», работавший с 2011 по 2019 год в составе проекта «РадиоАстрон», глобальной РСДБ-сети, и ныне работающую космическую обсерваторию «Спектр-РГ», которая предназначена для наблюдений в рентгеновском и гамма-диапазонах. В оптической астрономии технологии тоже не стоят на месте. В настоящее время, например, в Чили строится грандиозный оптический телескоп ELT (Extremely Large Telescope) с диаметром зеркала 39 метров! Одной из основных задач для этого гиганта станет изучение атмосфер внесолнечных планет. Однако даже с таким бурным развитием технологий мы пока еще не добрались до того уровня, когда наши инструменты могут просто «сфотографировать» сколь угодно далекий объект и прямо увидеть его структуру. Прежде чем поразить общественность изображением тени черной дыры или детальным «снимком» релятивистской струи газа, истекающей из ядра далекой галактики, астрономам приходится немало потрудиться над «сырыми» данными наблюдений. Для обработки этих сырых данных используются весьма нетривиальные математические методы и подходы. Иной раз, чтобы разглядеть какую-нибудь ударную волну в аккреционном диске крошечной и очень далекой звезды, приходится в буквальном смысле «копаться в шумах». Поэтому, вообще говоря, для того, чтобы правильно понимать, что же изображено на очередной «сенсационной» картинке, публикуемой в прессе, неплохо иметь хотя бы общее представление о том, с помощью каких приборов и методов она получена. Этому в основном и будет посвящен шестой номер нашего журнала.

В статье «Самый большой глаз во Вселенной» А.С. Никонов расскажет о

таких радиоастрономических инструментах, как радиоинтерферометры. Читателям интересно будет узнать об истории радиоастрономии в общем и радиоинтерферометрии в частности, познакомиться с наиболее известными инструментами и их достижениями, и, конечно, некоторыми «секретами» обработки наблюдательных данных, применяемыми в этой области. Сам автор этих строк в своей статье расскажет о том, как известный в медицине метод томографии позволяет получать детальные изображения аккреционных потоков в тесных двойных звездах, которые недоступны прямым наблюдениям, и даже для самого большого наземного телескопа всегда останутся безразмерной точкой на снимке. Уже упомянутой тени черной дыры посвящена статья О.Ю. Цупко. Автор рассказывает о том, чем важно изучение столь экзотических объектов, где их искать, как наблюдать и применять полученные знания в дальнейших исследованиях.

Представляя шестой, заключительный в этом году номер, я надеюсь, что он будет интересен как любителям астрономии, так и специалистам. Даже специалисты, очевидно, не могут охватить всех областей науки и, например, мне, работающему в области оптической астрономии, было очень интересно глубже вникнуть в те исследования, которые описаны в этом номере. Несмотря на научную сложность проблем, описываемых в статьях этого номера, их авторы знакомят читателя с материалом простым и понятным языком со множеством иллюстраций, позволяющих легче понять, о чем же идет речь.

*Редактор журнала
«Земля и Вселенная»,
научный сотрудник Института
астрономии РАН, канд.ф.-м. наук
Дмитрий Алексеевич Кононов*

САМЫЙ БОЛЬШОЙ ГЛАЗ ВО ВСЕЛЕННОЙ

НИКОНОВ Алексей Сергеевич,

Институт Радиоастрономии Общества имени Макса Планка, Германия

DOI: 10.7868/50044394822060019



Земля и другие планеты обращаются вокруг Солнца. Как и Солнце, другие звезды, пыль и газ обращаются вокруг некоего центра, вместе образуя сложно устроенный диск из светящейся материи (рис. 1).

Этот диск – наша галактика под названием Млечный путь, и она не является единственной во Вселенной. Самая близкая соседка Млечного пути – галактика Андромеды видна даже невооруженным взглядом в хорошую

безлунную ночь и похожа на Млечный путь (рис. 2).

В прошлом веке телескоп имени Хаббла, один из самых успешных космических телескопов, получил крайне интересное изображение. В течение 11.3 суток телескоп наблюдал область, свободную от звезд нашей галактики, и обнаружил, что на первый взгляд пустое поле

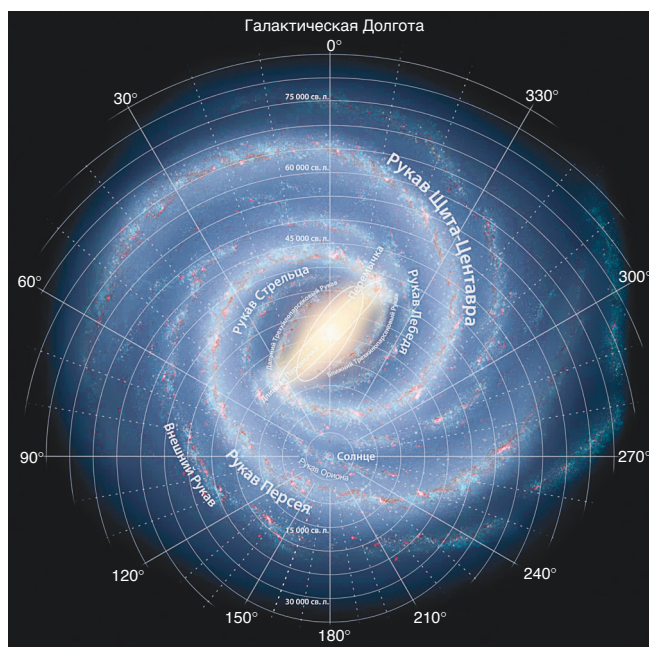


Рис. 1. Млечный путь. Компьютерное моделирование, основанное на современных наблюдениях звезд и газа в галактике (NASA, PL-Caltech, ESO, R. Hurt)



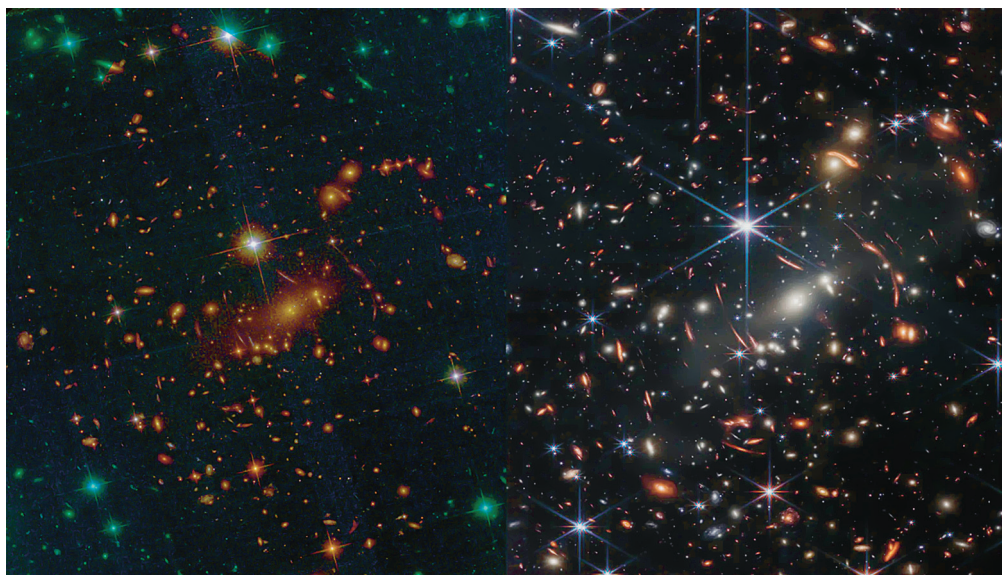
Рис. 2. Сверху: Хаббловское сверхглубокое поле (Hubble Ultra-Deep Field) – изображение, охватывающее участок неба диаметром чуть больше 3 угловых минут в созвездии Печь, содержит примерно 10 000 галактик. Снизу: увеличенный участок поля Хаббла.

Источник: NASA, ESA, and S. Beckwith (STScI) and the HUDF Team

(для слабых телескопов) плотно населено большим количеством галактик разных форм и размеров (рис. 3). Оказалось, что Вселенная населена огромным количеством галактик, число ко-

торых превосходит количество звезд в нашем Млечном пути. Галактики могут обладать совершенно разной структурой, но большая часть из них обладает центральной областью, которая

Рис. 3. Сравнение одной и той же области скопления галактик SMACS0723. Слева изображение, полученное с помощью телескопа имени Хаббла, справа – Джеймса Уэбба (NASA, ESA, CSA, and STScI)



может выделяется от остальных частей своей яркостью.

В 2022 году было получено не менее, если не более, захватывающее изображение. В результате первых тестовых наблюдений нового космического телескопа имени Джеймса Уэбба были получены изображения известных объектов беспрецедентного качества. Одним из таких объектов является скопление галактик SMACS0723. Телескоп наблюдал этот участок неба 12.5 часа и получил результат лучше, чем Хаббл с 11 сутками наблюдений.

Центральная часть галактик называется ядром, и многие из них являются активными, причем энерговыделение данных областей нельзя объяснить активностью отдельных звезд и газопылевых облаков. Активные ядра могут быть настолько яркими, что их светимость может быть сравнима со светимостью целой галактики и даже превышать ее.

Несмотря на это, исследование ядер галактик было ограничено следующими причинами: многие далекие активные ядра галактик в оптическом диапазоне визуально не отличаются от обычных звезд, а галактики с видимыми ядрами могли не показывать активности. Все изменилось с появлением радиоастрономии, когда открылся новый канал приема излучения космических объектов. Невидимые ранее истечения и облака вещества, простирающиеся на килопарсеки в межгалактическое пространство, стали видимыми.

Радиоастрономия – раздел астрономии, изучающий небесные объекты на

радиочастотах. Одна из относительно молодых астрономических наук, она берет свое начало с экспериментов Карла Янского – инженера компании “Bell” по трансатлантической беспроводной связи. В 30-х годах прошлого века он исследовал шумы и помехи, которые мешают радиосвязи. Для этой цели Карл Янский специально сконструировал направленную антенну и использовал чувствительный приемник.

Помимо грозových и других атмосферных явлений, которые могут быть источниками шума в радиодиапазоне, он заметил и повторяющиеся во времени сигналы, которые происходили с периодом 23 часа 56 минут и 4 секунды. Данный период в точности совпадает с периодом вращения Земли. Уже тогда ему было ясно, что эти помехи имеют внеземное происхождение. Исследуя небо с помощью радиоантенны, он открыл радиоисточник в центре Млечного пути.

Янский понимал, что тщательные астрономические наблюдения потребуют антенн с большими размерами, которые можно легко ориентировать по небу. Поэтому он предложил конструкцию большой параболической антенны с диаметром зеркала 30.5 метра, которая должна была работать на длине

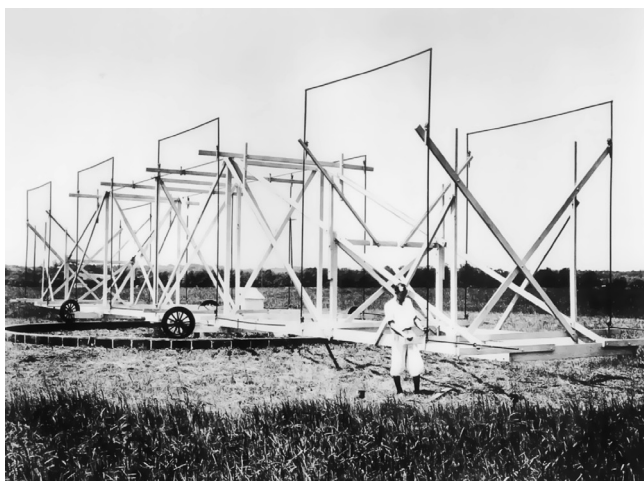


Рис. 4. Направленная антенна Янского, 1930-е гг. (NRAO)

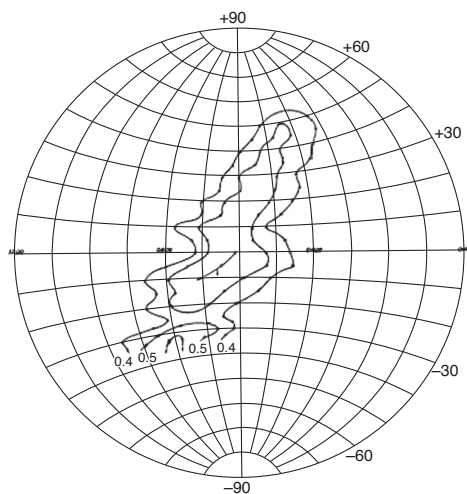
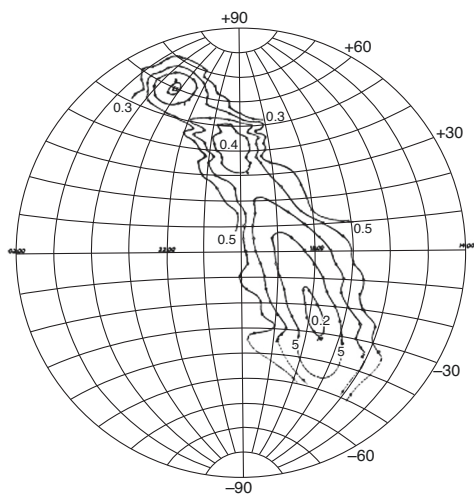


Рис 5. Сверху: первая карта радионеба, опубликованная в статье Гроута Ребера. На карте изображены два полушария неба, на которые нанесены контуры интенсивности по аналогии с контурными географическими картами высот. Справа: 9.5-метровая параболическая антенна Гроута Ребера во дворе дома его родителей (NRAO).

волны света порядка одного метра, но его никто не поддержал, кроме одного из радиолюбителей. Гроут Ребер – радиолюбитель, работал в производстве радиотехники в Чикаго. В 1937 году он, заинтересовавшись работами Карла Янского о радиоизлучения неба, построил во дворе дома своих родителей 9.5-метровую параболическую антенну, которая могла наклоняться, но не вращаться.

Антенна по размерам была значительно меньше той, которую предложил использовать Янский, но вследствие

использования детектора значительно меньших длин волн разрешение получилось лучше предполагаемого в телескопе самого Карла Янского. В 1944 году вышла статья Гроута Ребера, в которой он впервые опубликовал карту радиоинтенсивности неба, продемонстрированную на рис. 5.

Перед астрономией открылся совершенно новый канал получения информации о небесных объектах, поэтому радиоастрономы сделали огромное количество открытий даже с относительно слабыми инструментами. На картах (рис. 5) отчетливо видны центральные области Млечного Пути и яркие радиоисточники в созвездии Стрельца, Лебедя А, Кассиопеи А, Большого Пса и Кормы. Несмотря на это, для точного определения природы излучения требовалось отождествление с уже изученными объектами, что являлось

невыполнимой задачей из-за физических ограничений телескопов.

Вторая мировая война ускорила развитие радиотехники и радиоастрономии. Для обнаружения вражеских самолетов и других летательных аппаратов начали использовать систему радиолокаторов. Так как область радиолокации в то время было плохо изучена, существовала проблема обнаружения воздушных боевых единиц, летящих со стороны заходящего или восходящего Солнца, которое, как выяснилось, и являлось источником помех. Оказалось, что Солнце является сильным источником радиоизлучения. После выводов, сделанных о природе помех на горизонте, а также после появления антенн и высокочувствительных приемников в сантиметровых и миллиметровых диапазонах длин волн, радиоастрономия начала свое бурное развитие. В 1950-х годах была найдена радиолиния нейтрального водорода, благодаря чему были обнаружены гигантские облака газа, невидимые в оптическом диапазоне. Были также открыты источники мощного радиоизлучения, похожие на звезды, которые называли квазарами (квазизвездные радиоисточники), а в 1960-х годах обнаружили реликтовое излучение и источники быстропеременных всплесков, которые впоследствии называли пульсарами. Все открытия значительно дополнили астрономическую картину мира и добавили множество объектов, невидимых в оптическом диапазоне.

Ранние радиотелескопы имели крайне низкое качество изображения, поэтому на небе наблюдались только ярчайшие источники, которых было не так уж и много, а потому появилось обозначение для объектов в виде названия созвездия, в котором они находятся, с добавлением буквы латинского алфавита, обозначающей градацию

объектов по яркости среди остальных в созвездии. Например, Стрелец А, Лебедь А и т. д.

Проблема радиоастрономии заключалась в том, что для получения качественных изображений неба, как с помощью оптических телескопов (телескопов видимого света), необходимо было построить радиотелескоп в сотни и тысячи раз больше самых больших оптических телескопов.

Из рис. 5 видно, что карта неба, полученная Гроутом Ребером, является расплывчатой и мало может сказать о деталях, скрытых в ней. Для более серьезного изучения космоса в радиоволнах необходимо улучшить качество, четкость изображений. В астрономии она определяется разрешающей способностью телескопа (разрешением) $\theta \sim \lambda/D$, где λ – длина волны света, который телескоп принимает, а D – его диаметр.

Решением данной проблемы стал метод, который позволил использовать много маленьких антенн вместо одной большой. Объединение антенн в одну систему стало возможным благодаря явлению интерференции света.

Интерференция – эффект наложения двух электромагнитных волн, из-за чего наблюдается интерференционная картина, представляющая собой чередующиеся освещенные и неосвещенные полосы. Самым известным экспериментом является опыт Юнга. В данном опыте свет падает на непрозрачную пластину с двумя узкими щелями (ширина щелей порядка длины волны света). Позади пластины находится экран, который должен быть освещен светом, прошедшим через данные две щели. Благодаря волновой природе света щели являются источником вторичных волн, которые позади пластины складываются, что ведет к появлению интерференционной картины, как на рис. 6.

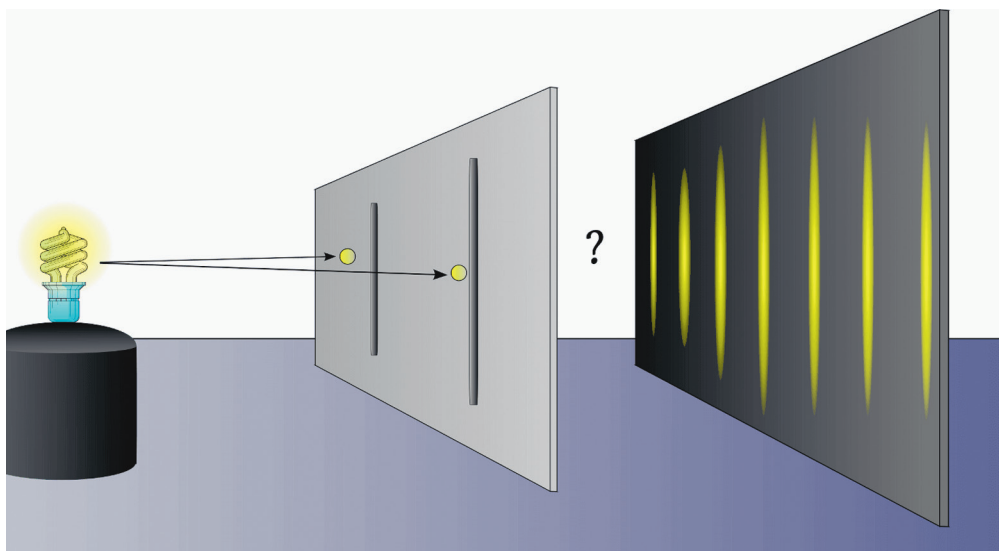


Рис. 6. Опыт Юнга и интерференционная картина (ya.ru)

Ранее (в оптическом диапазоне света) применялся метод измерения угловых размеров звезд с помощью наблюдения интерференционных картин. Устройство, позволяющее многократно увеличить разрешение телескопа, называется звездным интерферометром Майкельсона. Оно состоит из из четырех зеркал, свет от которых направляется на собирающую линзу и фокусируется на экране (см. рис. 8).

Регулируя базу интерферометра d (расстояние между зеркалами), необходимо найти такое d , при котором интерференционная картина пропадает. При измерении углового диаметра звезды интерференционная картина пропадает при $\theta = 1.22\lambda/d$.

Если источник не является точечным, и его угловой размер больше ширины полос интерференции, то интерференционные минимумы не будут равны нулю, другими словами, картина будет расплывчатой. Вводится параметр, называемый видностью интерференции V , который показывает, насколько четкие полосы вид-

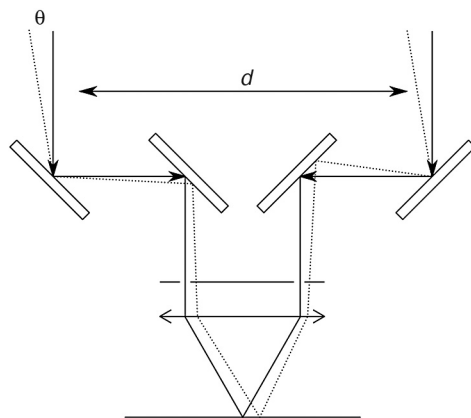


Рис. 7. Схема звездного интерферометра Майкельсона. θ – угловое расстояние между краями звезды, d – расстояние между зеркалами интерферометра (база) (Alex-engraver / wikipedia.org)

ны в интерференционной картине: $V = 0$ – не видно полос, $V = 1$ – полосы четкие.

Так, например, измерили угловой размер звезды Бетельгейзе в обсерватории Маунт-Вилсон близ Лос-Анджелеса. Имея 2.5-метровый телескоп, зеркала интерферометра сдвигались на

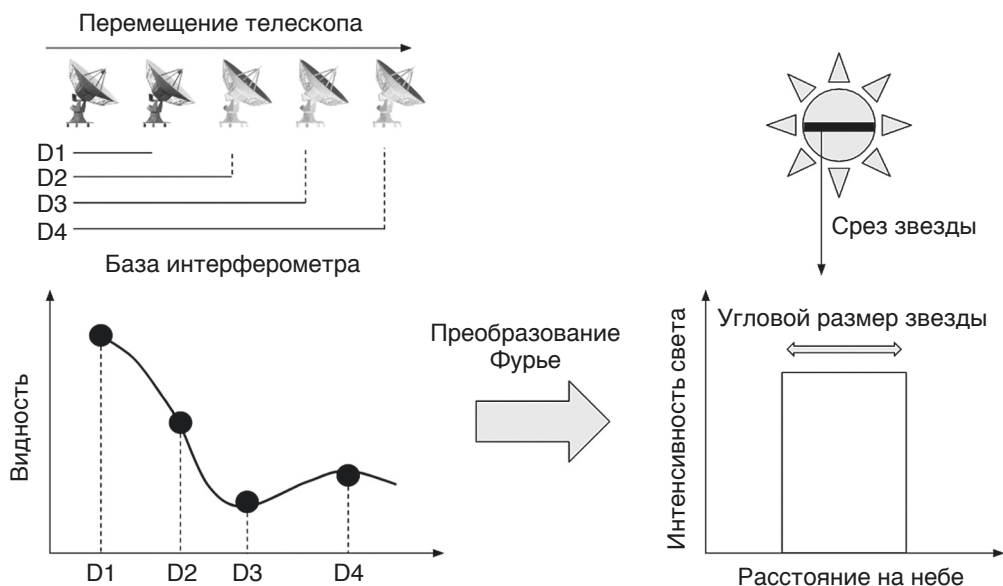


Рис. 8. Измерения простейшего интерферометра и получение изображения звезды

расстояние 6.1 метра друг от друга, что и позволило измерить размеры звезды. По сути, звездный интерферометр Майкельсона «увеличил» диаметр телескопа с 2.5 до 6.1 метра и, следовательно, улучшил его угловое разрешение, но испортил само изображение, потому что «круглая» звезда превратилась в полосы. Таким образом, для того чтобы увеличить разрешающую способность телескопа, можно вместо одного большого телескопа построить интерферометр, состоящий из множества маленьких телескопов.

В радиоинтерферометрии – то же самое. Единственное отличие заключается в том, что радиотелескоп преобразует свет в электричество и измеряет напряжение на приемнике в Вольтах. Для того чтобы сложить два сигнала с радиотелескопов, вместо зеркал используются провода и суперкомпьютер, называемый коррелятором. Коррелятор – это устройство, которое собирает и комбинирует сигналы, пришедшие на телескопы. С математической точки

зрения, коррелятор перемножает сигналы каждой пары телескопов в интерферометре. Он выдает как результат работы коэффициент корреляции, показывающий, насколько размылась интерференционная картинка. По своей природе коэффициент корреляции – есть видность интерференции.

Впоследствии оказалось, что видность интерферометра связана с реальным изображением посредством математической формулы преобразования Фурье. Другими словами, достаточно измерить видность на разных базах интерферометра, чтобы получить изображение. Таким образом можно собрать простейший двухэлементный интерферометр: два радиотелескопа, один из которых движется относительно другого.

По такому принципу в 1968 году был построен *Half-mile telescope*. Данный интерферометр состоит из четырех телескопов: два из них фиксированные; оставшиеся могут передвигаться по рельсам, как показано на рис. 9.



Рис. 9. Half-Mile Telescope (Mullard Radio Astronomy Observatory, Великобритания). На фотографии видны два элемента этого интерферометра и рельсы, по которым телескопы передвигаются (Cmglee / wikipedia.org)

Вместо того чтобы двигать телескопы каждый раз, можно иметь большее количество разнесенных между собой телескопов. *Westerbork Synthesis Radio Telescope* (WSRT) в Нидерландах имеет 10 фиксированных телескопов, и 4 на рельсах, выстроенных в линию протяженностью 2.7 километра.

Зависимость видности от базы называется «функция видности». Для интерферометра, у которого телескопы расположены на прямой линии, она является одномерной. Соответственно, такой интерферометр будет выдавать одномерное изображение объекта, то есть вдоль одной линии. Чтобы получить двумерное изображение, похожее на фотографию, необходимо, чтобы и функция видности была тоже двумерной. Для этого достаточно расположить телескопы в разных направлениях. На-

пример, можно выстроить телескопы по двум перпендикулярным направлениям: Север-Юг и Восток-Запад. Главным примером таких интерферометров служат крестообразные телескопы. В Пушчинской радиоастрономической обсерватории АКЦ ФИАН (ПРАО) был построен самый большой в мире крестообразный радиотелескоп ДКР-1000 (Диапазонный крестообразный радиотелескоп) (рис. 11). Число 1000 говорит о величине креста: протяженность телескопа с севера на юг – один километр, такая же протяженность элемента с запада на восток.

Примером крестообразного расположения антенн также служит Сибирский солнечный радиотелескоп (ССРТ), состоящий из 256 антенн по 2.5 метра каждый. Интерферометр находится в живописном районе Восточного Саяна, недалеко от Иркутска (рис. 12).



Рис. 10. Westerbork Synthesis Radio Telescope (WSRT), Astron, Нидерланды (Raimond Spekking)



Рис. 11. ДКР-1000, ПРАО, Россия. Фото Александра Попова



Рис. 12. Сибирский солнечный радиотелескоп (ССРТ). Фото Евгения Фатеева

Теперь функция видности является двумерной, где по осям «х» и «у» отложены базы интерферометра «и» и «v», которые называются также пространственными частотами, в радиоастрономии они измеряются в длинах волн наблюдения. Сама координатная плоскость так и называется: «uv-плоскость».

Координаты uv не зря называются пространственными частотами. Преобразование Фурье «делит» изображения на детали разных размеров, например, лицо – большая деталь, а зрачки – маленькая. Так, значение функции видности для лица будет располагаться ближе к 0 на uv-плоскости, а глаза будут соответствовать отдаленным от нуля областям. Таким образом, если учитывать только центральные области uv-плоскости, то потеряется информация о мелких деталях и изображение станет расплывчатым, как на рис. 13.

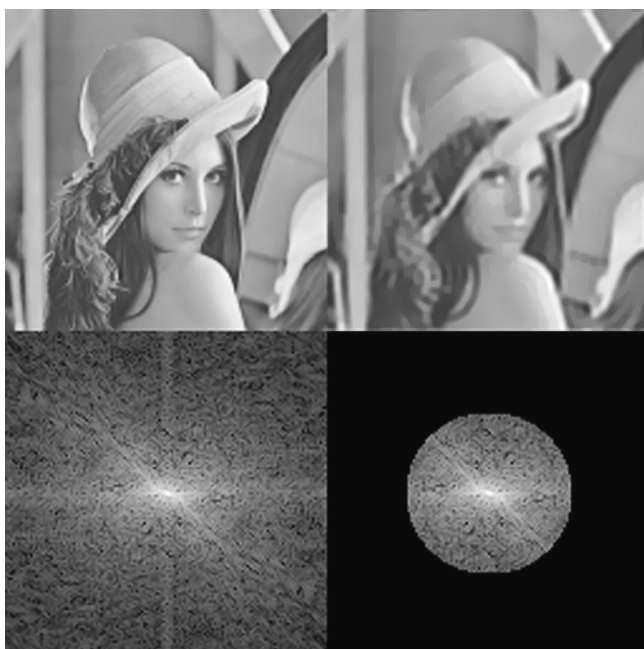
Строго говоря, функция видности является непрерывной и определена на

всех возможных значениях пространственных частот. Возвращаясь к двухэлементному интерферометру, где видность измеряется посредством сдвига одного из телескопов, видно, что измерения проводятся только с конкретными базами, то есть всего-лишь несколько точек на функции видности. Значения функции видности между заданными базами не измеряется. Данное упущение ведет к тому, что на базах, где нет измерений, неизвестно, какое значение видность принимает, из-за чего на изображении могут появиться артефакты.

Самый естественный артефакт, который может наблюдаться каждый день – это расплывчатое изображение. У каждого оптического инструмента есть предел, который называется «разрешающая способность». Свет, проходя через круглое отверстие зрачка или телескопа, испытывает дифракцию, из-за чего точечный источник может наблюдаться

Рис. 13. Изображение (сверху) и его амплитуда функции видности (снизу). Справа изображение стало более расплывчатым, так как применена маска, которая отбрасывает отдаленные от центра участки функции видности (John M. Brayer)

в виде расплывчатой фигуры. Чем больше оптический прибор, тем меньше размытие. Это – ни что иное как фильтр низких пространственных частот функции видности, который также был показан на рис. 13. То есть в данном случае, угловое разрешение определяется радиусом маски, которая была применена к функции видности (рис. 13). Из-за этого эффекта бесконечно маленькая точка, наблюдаемая с помощью оптического инструмента с круглым объективом, уже перестает быть точкой вообще, а больше похожа на пятно с концентрическими кольцами, которое называется диск Эйри (рис. 14). В оптике данный отклик системы на наблюдение точки называется «функция рассея-



ния точки» (ФРТ), а в радиоастрономии этот же отклик называется диаграммой направленности (в иностранной литературе – *beam*). ФРТ можно представить как элемент изображения, из которого оно состоит. Можно провести аналогию с пикселями в мониторе. Пиксели определяют минимальный масштаб, который может показать монитор, так как изображение состоит из пикселей. В каком-то смысле ФРТ – пиксель в оптической системе. Если же мы применим обратное преобразование Фурье к ФРТ, то получим ту самую маску, которая накладывается на видность и закрывается определенные значения.

В случае интерферометров все намного хуже. Маска закрывает все, кроме нескольких точек, где было произве-

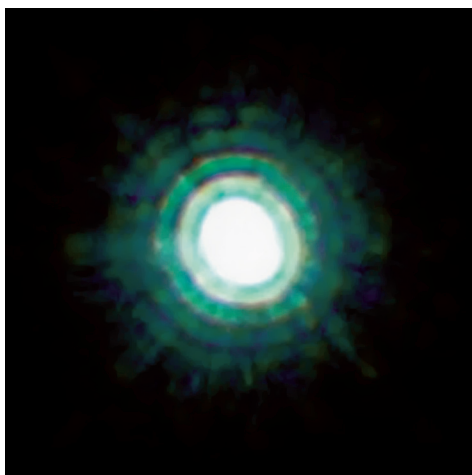


Рис. 14. Диск Эйри, или изображение точечного источника, сделанное с помощью фотоаппарата Sony с объективом «Рубинар 10/1000» (производства «ЛЗОС») и двухкратным телеконвертером «К-1» (производства Киевского завода «Арсенал»). Фотограф: Роман Напреев

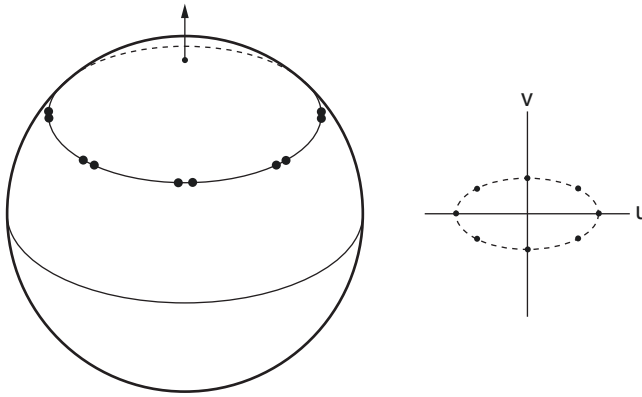


Рис. 15. Использование Земли для увеличения заполнения uv -плоскости (справа) (Essential Radio Astronomy. James J. Condon and Scott M. Ransom)

дено измерение, поэтому измеряемая функция видности является «пустой». Результатом этого являются более серьезные артефакты, которые могут повлиять на интерпретацию изображения и коренным образом поменять картину. Значительно улучшить качество изображений позволило вращение Земли. Если наблюдать расположение телескопов с источника, то по мере вращения Земли взаимное расположение телескопов и расстояния между ними будут меняться. Таким образом, на заполнение uv -плоскости влияет именно проекция баз интерферометра (рис. 15) и одна и та же пара телескопов может измерять большое количество видностей на uv -плоскости.

Но все же, даже в этом случае заполнение довольно пустое, вследствие чего возникает проблема неоднозначности измеренной функции видности в промежуточных областях. Если применить преобразование Фурье к данным, то получим крайне смазанное и сложно анализируемое изображение, которое называется «грязной» картой. На самом деле, тут не произошло ничего нового, все так же применена маска к функции видности. Дело в том, что такая маска даст ФРТ очень сложной формы, которая может даже быть непохожей на

окружность. Поэтому, чтобы очистить изображение от ФРТ, используют специальные алгоритмы. Ранее говорилось, что изображение – есть преобразование Фурье от функции видности. В данном случае появляется еще один член, где наблюдаемая видность – это произведение маски на реальную видность. Получается, что наблюдаемое изображение, которое мы получаем, – есть Фурье преобразование от произведения видности и маски. В та-

ком случае мы получаем искаженное изображение. На самом деле искаженное изображение включает в себя реальное, но ФРТ, которая появляется из-за наложения маски, не позволят различить мельчайшие детали, размывая реальное изображение. Это размытие является следствием математической операции, которая называется «свертка» (рис. 16). Функция видности, которую получают с интерферометров, дает грязное изображение. Чтобы очистить изображение, применяются алгоритмы деконволюции (операция, обратная свертке). Деконволюция – очень сложный процесс, так как в данном случае имеется неоднозначность решений, поэтому данная задача с точки зрения математики является некорректно поставленной обратной задачей. Большой вклад внес в решение задачи советский астрофизик В.А. Амбарцумян. Класс обратных задач является обширным, его применяют не только в радиоинтерферометрии и оптике, но и в компьютерной томографии.

Одним из наиболее успешных методов восстановления изображения является алгоритм чистки (CLEAN), разработанный Хегбомом. В своей основе он представляет собой процесс численного обращения свертки в области (l, m) .

Метод заключается в замене некоторого распределения яркости точечными источниками с ФРТ без боковых лепестков («чистая» диаграмма направленности).

Алгоритм метода:

- Вычисляется карта объекта и отклик на точечный источник с помощью преобразования Фурье функции видности и маски соответственно. Данная карта называется «грязной» картой, а синтезированный отклик на точечный источник – «грязной» ФРТ.

- Сначала на грязной карте находится точка с максимальной интенсивностью, координаты и яркость которой запоминаются. После чего грязная ФРТ совмещается с картой таким образом, чтобы центр ФРТ точно совпадал с точкой максимальной интенсивности, затем из грязной карты вычитается грязная ФРТ, помноженная на коэффициент гамма, который называется коэффициентом усиления петли.

- Выполняется предыдущий пункт до тех пор, пока все компоненты объекта не будут вычтены из грязной карты.

- Выходом этого алгоритма на данный момент являются координаты и яркости точек на карте, где было произведено вычитание. Данный список точек в пространстве с соответствующими яркостями называется CLEAN моделью. После свертки модели с «чистой» ФРТ получается модельное изображение. «Чистая» ФРТ – чаще всего гаусс,

ширина на половине высоты, амплитуда которой равна ширине «грязной» диаграммы.

- К полученной карте добавляется то, что осталось после полного процесса вычитания п. 3. Таким образом получаем «чистую» карту.

Данный алгоритм прост с точки зрения вычислительных ресурсов и хорошо справляется с «пустыми» видностями, поэтому его чаще всего используют для восстановления изображений в радиоастрономии. К сожалению, этот алгоритм не имеет под собой строгих математических обоснований, из-за чего восстановленные изображения являются, все-таки, приближением, так как влияние артефактов самого алгоритма могут привести некоторые особенности в изображение объектов, особенно протяженных и тусклых. С развитием компьютеров начали появляться новые алгоритмы на основе Байесовой статистики. Они справляются гораздо лучше в некоторых ситуациях, чем CLEAN, но все еще требуют много вычислительных ресурсов, из-за чего CLEAN до сих пор остается самым популярным инструментом не только в радиоастрономии, но и в других областях. Благодаря алгоритмам восстановления появилась возможность наблюдать объекты с помощью интерферометра с малыми заполнениями и значительно улучшить качество изображений.

Рис. 16. Пример сворачивания истинного изображения (справа) с «грязной» диаграммой направленности (середина). Слева: «грязное» изображение (NRAO)

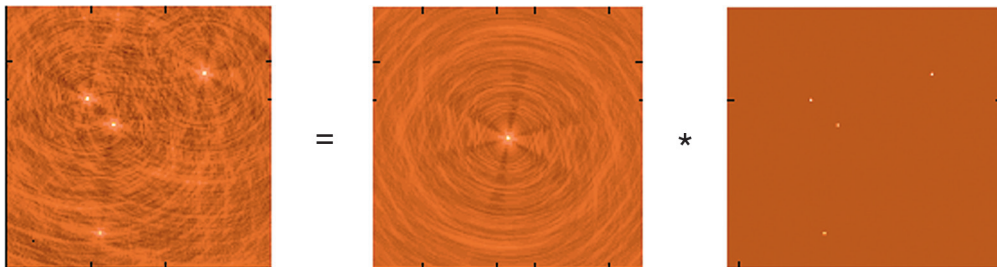




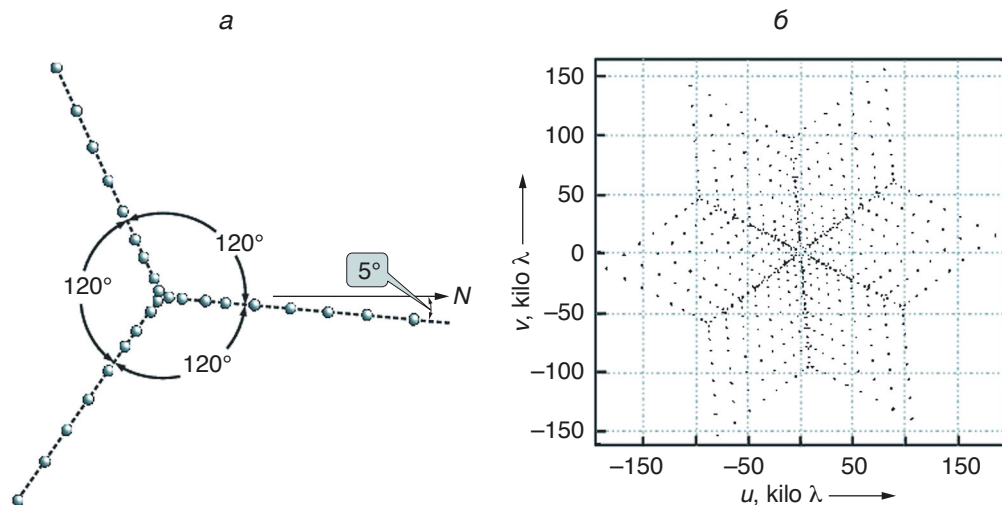
Рис. 17. Very Large Array, NRAO, США. Всемирно известный и один из самых успешных интерферометров (NRAO)

Американский интерферометр *Very Large Array* (VLA), построенный в 1980 году, имеет 28 антенн, каждая из которых имеет 25-метровое зеркало. Телескопы в этом интерферометре

расположены в форме буквы Y и могут двигаться по рельсам вдоль направляющих (рис. 17).

Благодаря своей конфигурации данный интерферометр может формиро-

Рис. 18. Схема расположения VLA, где буквой N указано направление на север (а). Заполнение uv -плоскости для данной конфигурации (б). Заимствовано *Radio Astronomy and Super-Synthesis: a Survey* (Asit Baran Bhattacharya)



вать достаточно хорошее uv-заполнение (рис. 18).

Из рис. 18 видно, что заполнение достаточно хорошее, но добавим вращение Земли и получим рис. 19.

Благодаря такому заполнению удается получать очень качественные изображения с относительно небольшими артефактами, которые могут быть впоследствии удачно удалены. VLA работает уже много лет и радуется радиоастрономов детальными изображениями как звездных объектов, так и галактик. После значительного обновления систем, телескоп, который стал называться Jansky VLA (JVLA),

увеличил чувствительность более чем в 10 раз! На рис. 20 изображен релятивистский выброс из центра галактики M87, находящейся в 50 миллионах световых лет от нас. Эта та самая галактика, в которой впервые в истории была обнаружена тень сверхмассивной черной дыры. Высококоллимированные струи встречаются у активных галактик. Сверхмассивная черная дыра, взаимодействуя с магнитным полем вокруг, передает веществу часть своей вращательной энергии и ускоряет вещество почти до скорости света в межгалактическое пространство. Этого хватает, чтобы образовать выброс, показанный на данном рисунке, протяженностью примерно 50 тысяч световых лет. Для сравнения, расстояние от Солнца до центра нашей галактики около 30 тысяч световых лет. Данное изображение было получено JVLA и обработано Passeto и др. в 2022 году. Как видно, теперь стало возможным получать детали масштаба 10 парсек в далекой галактике, что сравнимо с лучшими наземными телескопами.

Данный интерферометр является самым известным не только в узком

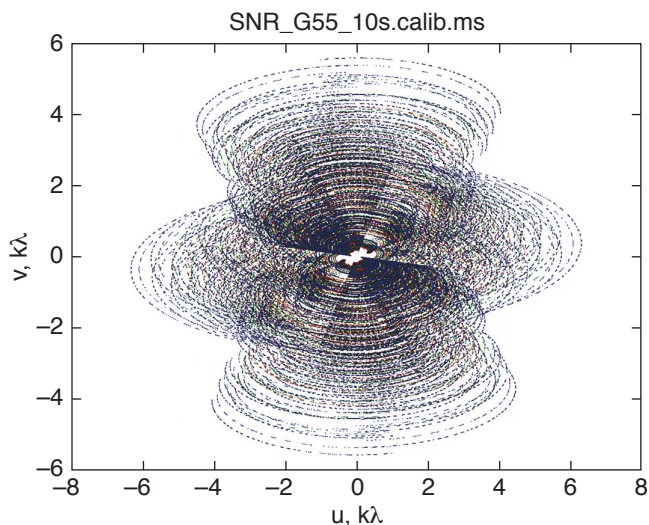


Рис. 19. Заполнение uv-плоскости при 8-часовом наблюдении G055.7+3.4. Заимствовано у NRAO

кругу радиоастрономов. На самом деле VLA стал символом высоких технологий и поиска внеземной жизни, благодаря чему был одним из героев книг, фильмов и даже компьютерных игр. Так, экранизация романа знаменитого ученого и легендарного популяризатора науки Карла Сагана «Контакт» и радиотелескопы VLA вдохновили целое поколение радиоастрономов на занятия наукой (рис. 21).

Сегодня одним из направлений развития телескопостроения является постройка интерферометров со сверхбольшой общей площадью, количеством антенн и конфигурацией, которая позволяет наиболее эффективным образом использовать вращение Земли для заполнения uv-плоскости. Проект *Square Kilometer Array* (SKA или [антенная] решетка площадью один квадратный километр). Данный проект требует огромных вычислительных мощностей и передачу данных, больше чем весь интернет трафик в 2013 году! Ядрами проекта являются MeerKAT и ASKAP. MeerKAT (ЮАР) состоит из 64 антенн с диаметром 13.5 метра

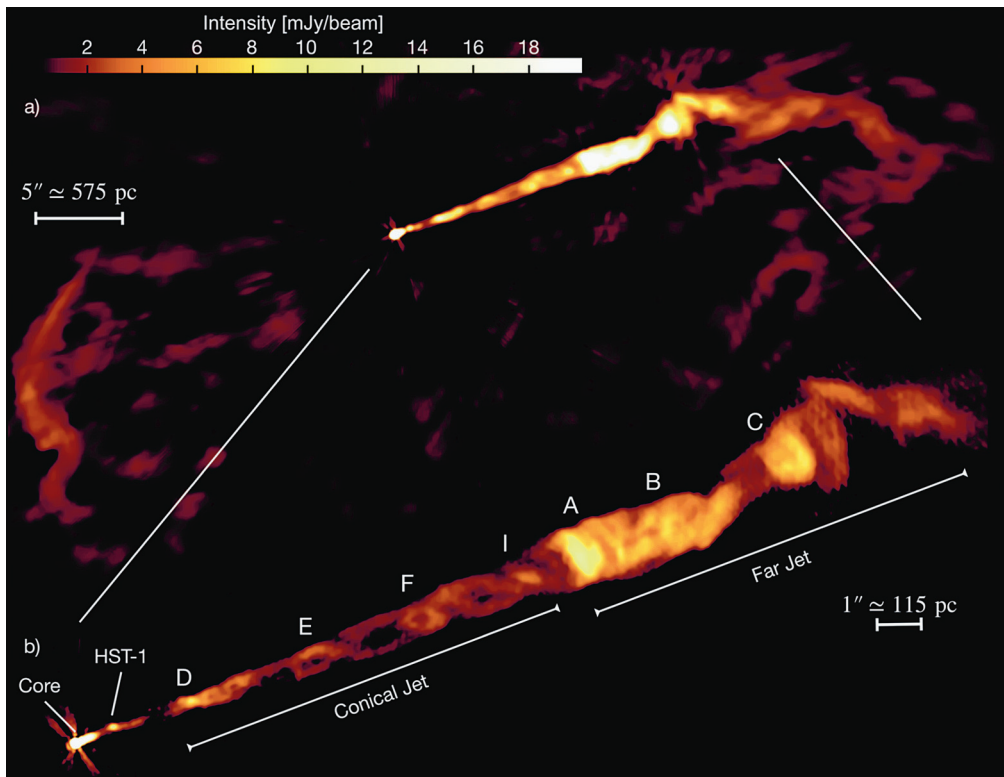


Рис. 20. Изображение, полученное с помощью JVLA, сравнимо с оптическими телескопами. В левом нижнем углу обозначен масштаб: 1 угловая секунда. Это угол, под которым рублевая монета видна на расстоянии 2 километра. Изображение релятивистского истечения вещества галактики M87 (Pasetto et al., 2022)



Рис. 21. Фильм «Контакт» Роберта Земекиса. На постере к фильму изображены телескопы VLA (South Side Amusement Company)



Рис. 22. MeerKAT, ЮАР (Mathieu Isidro / SKA)

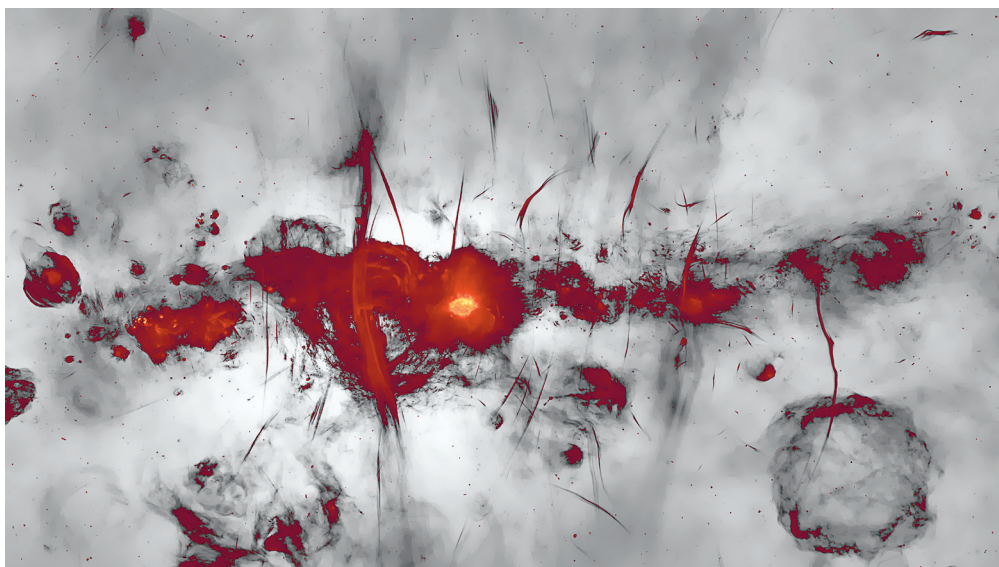


Рис. 23. Изображение неба, полученное интерферометром MeerKAT: млечный путь в радиодиапазоне (Ian Heywood/SARAO)

(рис. 22). ASKAP (Австралия) состоит из 36 антенн с диаметром 12 метров.

За счет большого количества антенн и чувствительной приемной аппаратуры полученные изображения позволяют увидеть самые тусклые детали

неба, которых до сих пор не было видно, например радиоизображение неба на рис. 23.

Таким образом было получено разрешение, сравнимое с оптическими телескопами, которое дало возможность

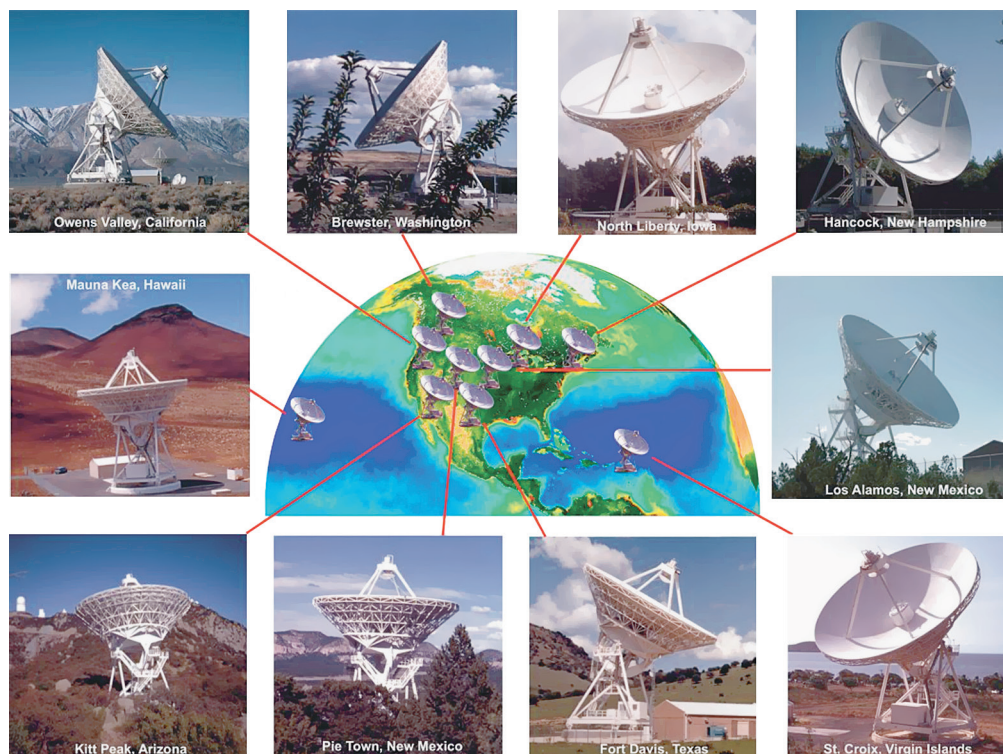


Рис. 24. РСДБ VLBA (NRAO)

отождествления объектов с оптическими изображениями.

Позже советские ученые Л.И. Матвеев, Н.С. Кардашев и Г.Б. Шоломицкий предложили независимо регистрировать данные на каждой антенне интерферометра, а потом совместно их обрабатывать, что дает возможность ставить антенны радиоинтерферометра на огромные расстояния, которые ограничены точностью определения расстояний между антеннами. Это позволяет значительно увеличить разрешающую способность. Метод получил название радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами (РСДБ) и успешно используется с начала 1970-х годов и дает возможность создавать виртуальные телескопы размером с Землю и даже с орбиту Луны!

Сегодня есть большое количество РСДБ-сетей. Американская VLBA (Very

Long Baseline Array), Европейская EVN (European VLBI Network), Российская Квазар-КВО (часть антенн входит в EVN), Азиатская EAVN (East-Asian VLBI Network) и Австралийская LBA (Long Baseline Array).

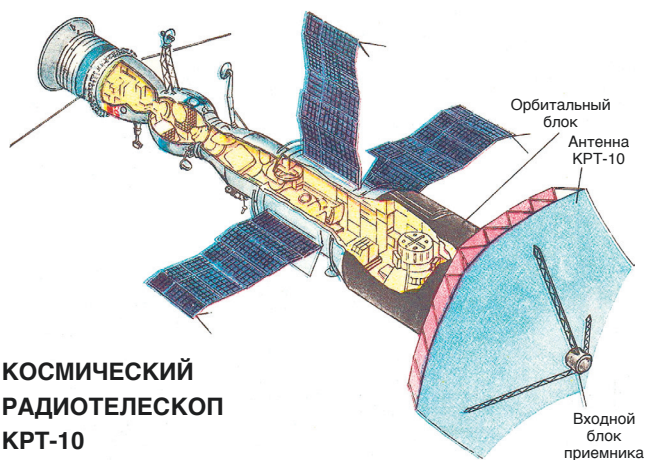
Так как расстояние между антеннами может быть очень большим, идея о наземно-космическом интерферометре родилась достаточно быстро, уже в 70-80-х годах прошлого века. Для тестирования технологий интерферометра был развернута 10-метровая параболическая радиоантенна на космической станции Салют-6. Телескоп работал в диапазонах 12 и 72 см на высоте 400 км с июля по август 1979 года. В следующем году были начаты разработки серии космических телескопов сантиметровых и миллиметровых длин волн, которые назывались Астрон-Р и Астрон-М. Позже проектам

были присвоены названия РадиоАстрон (Спектр-Р) и Миллиметронтрон (Спектр-М).

В 1997 году в Японии был запущен первый космический 8-метровый радиотелескоп (КРТ), который работал в режиме РСДБ – VSOP (VLBI Space Observatory Programme) или HALCA (Highly Advanced Laboratory for Communications and Astronomy). Космический аппарат имеет эллиптическую орбиту с перигеем 560 км и апогеем 21 400 км (самая близкая и дальняя точки орбиты). Теперь с базой более 20 000 км удалось преодолеть лимит углового разрешения, который был ограничен Землей.

Гораздо более значительный прорыв совершил проект РадиоАстрон, запуск которого произошел в 2011 году. Космический аппарат Спектр-Р, на котором находился 10-метровый радиотелескоп, имел вытянутую эллиптическую орбиту с перигеем около 11 000 км и апогеем 350 000 км. Для сравнения: расстояние от Земли до Луны примерно 380 000 км. Телескоп работал в диапазоне длин волн от 1.2 до 92 см. РадиоАстрон установил абсолютный рекорд углового разрешения во всей астрономии: 8 микросекунд дуги. Это то же самое, что разглядеть монету на поверхности Луны! Условия работы спутника были весьма суровы, так как он летал вне радиационного пояса Земли, который простирается примерно на 20 000 км. Несмотря на это, космический аппарат проработал 7.5 лет, что превысило срок службы в 2 раза.

Вместе с РадиоАстроном на Земле работало большое количество обсерваторий мира. Проект смог объединить американскую, европейскую, азиатскую и австралийскую сети интерфе-



**КОСМИЧЕСКИЙ
РАДИОТЕЛЕСКОП
КРТ-10**

Рис. 25. Космический радиотелескоп КРТ-10
(<http://www.spacefacts.de/>)

рометров в один гигантский телескоп размером с орбиту Луны. Такой скачок в разрешении дал огромное количество прорывных результатов. Самые красивые из них – это изображения в радиодиапазоне релятивистских струй вещества из центров активных ядер галактик (АЯГ). В галактике Персей А удалось получить изображение джета с невероятным разрешением почти в непосредственной близости от черной дыры. Было обнаружено, что основание джета очень широкое и имеет большой угол раскрытия, около 120 градусов, что говорит о том, что в механизме образования истечения играет роль аккреционный диск, а не черная дыра.

Появилась возможность изучать поперечную структуру истечений выбросов в объектах, где раньше это было крайне сложно. На рисунке сравнения с наземными телескопами видно, что раньше изображения джета блазара 0836 + 71 состояло из двух больших пятен. Сейчас же удалось обнаружить следы неустойчивости Кельвина–Гельмгольца. Анализ данных неустойчивостей дал оценку физических параметров струи, таких как число маха или

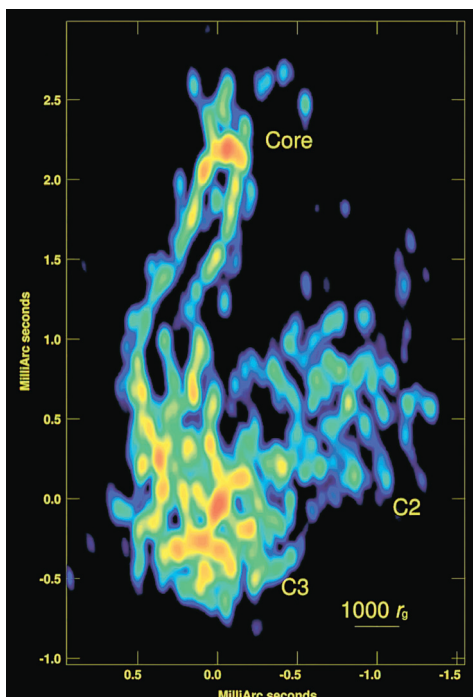


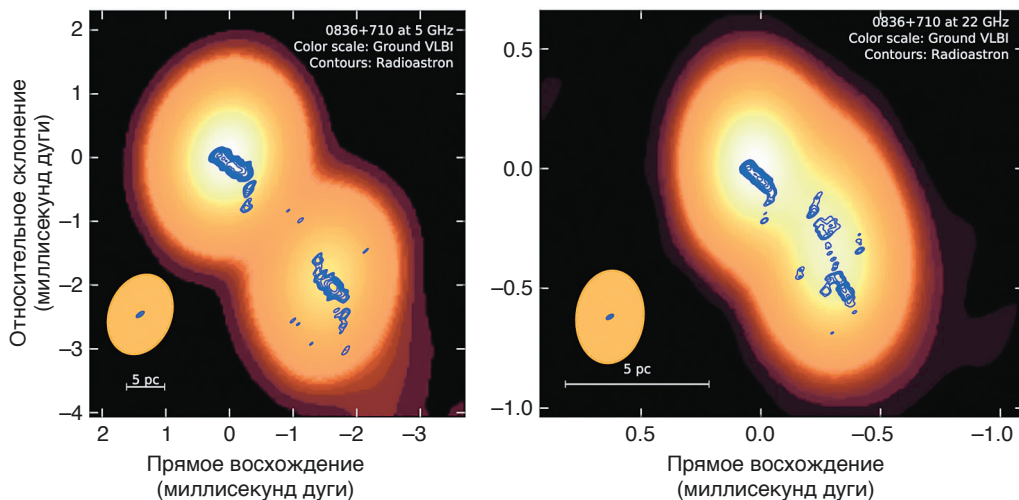
Рис. 26. Изображение джета галактики Персей А (3C84), полученное с помощью РадиоАстроны (G. Giovannini et al., 2015)

отношение плотности вещества в джете и в оболочке.

Имея такое угловое разрешение, ученые также попытались наблюдать тени

черных дыр, но обнаружили новый эффект рассеяния, который называется субструктурой рассеяния. Само по себе явление чем-то напоминает искажения, которые наблюдаются при наблюдении за струей реактивного двигателя. К сожалению, этот эффект становится сильнее по мере увеличения длины волны, и даже на самой короткой длине волны наблюдения РадиоАстроны влияние рассеяния велико, из-за чего тени черных дыр пронаблюдать не удалось. Несмотря на это, субструктура рассеяния является важным при изучении ядер галактик, так как она позволяет получить параметры плазмы, окружающей центральные области активных галактик. Более того, в настоящее время разрабатывается алгоритм компенсации за рассеяние, поэтому, возможно, в будущем нам удастся увидеть тень черной дыры на старых данных РадиоАстроны.

Рис. 27. Сравнение радиоизображений релятивистской струи блазара 0836+71 на 5 и 22 ГГц. Цветом показаны изображения, полученные с помощью наземных телескопов, синими контурами – изображение, полученное наземно-космическим интерферометром РадиоАстрон (Vega-Garcia et al., 2019, А&А)



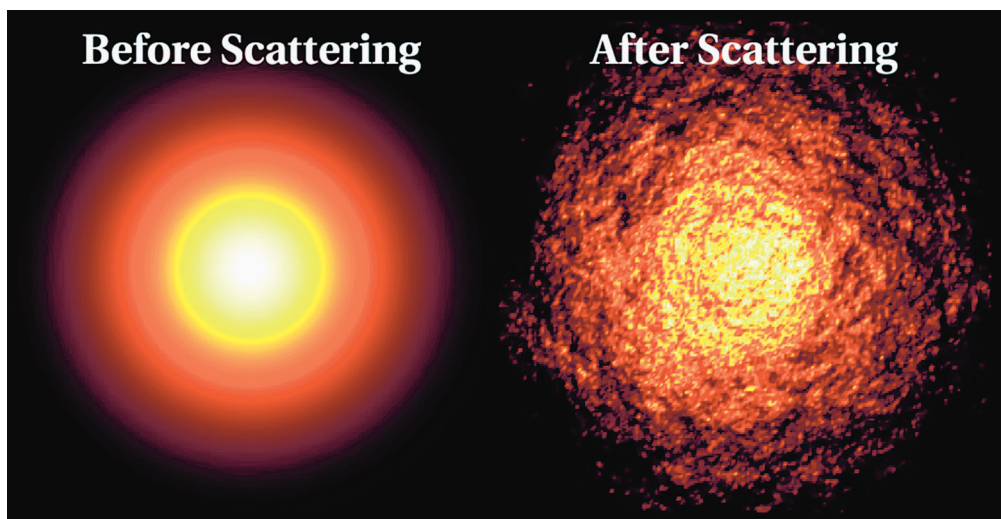


Рис. 28. Сверху: без рассеяния (слева) и с субструктурой рассеяния (справа) (Johnson et al., 2016).
Снизу: рассеяние, созданное горячим газом двигателями самолета МиГ-31.
Фото Дмитрия Чистопрудова

Таким образом, в сантиметровом диапазоне длин волн инструмент вне зависимости от его характеристик сталкивается с проблемой рассеяния и поглощения света, которая не позволяет ему увеличить качество изображе-

ния. Однако, если перейти в диапазон миллиметровых волн, можно значительно ослабить эффекты, мешающие наблюдениям в сантиметровом диапазоне. Так сделала команда «Телескопа горизонта событий».

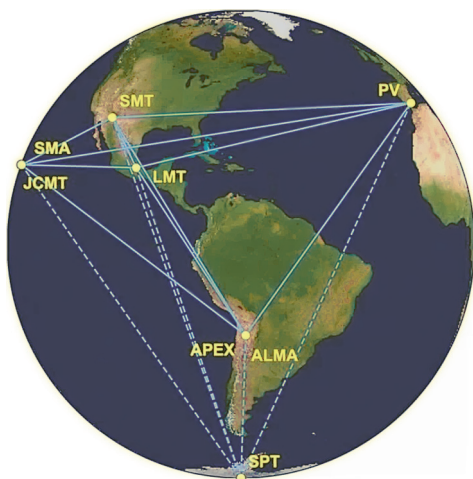


Рис. 29. Event Horizon Telescope и его 8 телескопов на карте Земли, которые вместе образуют виртуальный телескоп размером с Землю (EHT collaboration)

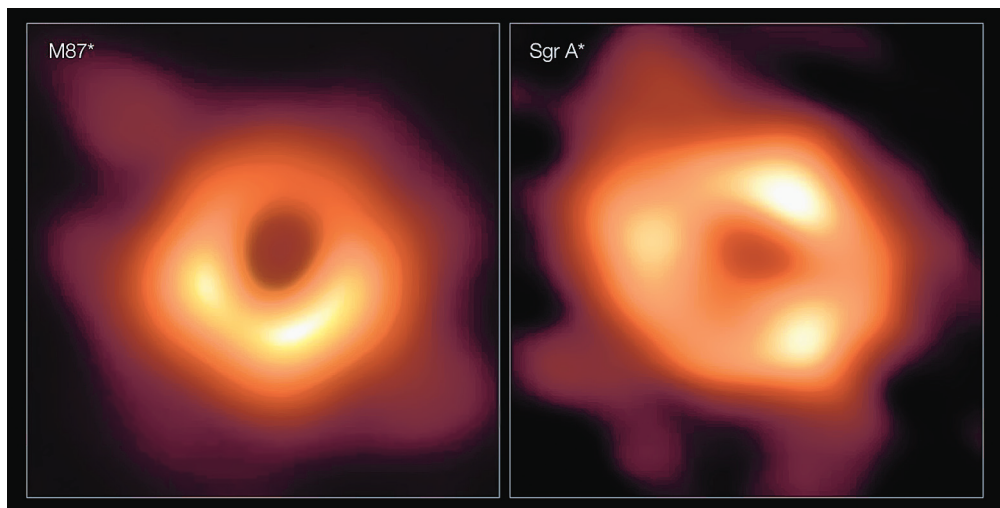
На сегодняшний день самая известная всем РСДБ-сеть – это *Event Horizon Telescope* (ЭНТ, «Телескоп Горизонта Событий»).

Данный телескоп, который представляет из себя радиointерферометр миллиметрового диапазона длин волн,

провел серию наблюдений с целью обнаружить фотонную сферу и тень черной дыры, которая является косвенным подтверждением существования черной дыры. Наблюдения были проведены еще в 2017 году, но первые результаты были опубликованы лишь в 2019 году. А в 2022 году были представлены результаты наблюдения центра нашей галактики Sgr A*. Огромная международная команда работала над проектами, тщательно обрабатывая данные и проверяя каждый свой шаг. Команда разбилась на несколько групп для независимой обработки наблюдательных данных для получения достоверного результата. Изображение, полученное Телескопом горизонта событий, позволило впервые в истории пронаблюдать ближайшие к сверхмассивной черной дыре окрестности (рис. 30).

Наблюдения не только косвенно подтвердили наличие сверхмассивной черной дыры в ядре галактики M87, но и вычислить ее параметры, благодаря чему появилась еще одна независимая оценка массы черной дыры, которая согласуется с оценкой массы, полученной из звездной динамики.

Рис. 30. M87* и Стрелец A* (EHT collaboration)



По оценке команды Телескопа горизонта событий, масса черной дыры в M87: $M = 6.6 \cdot 10^9$ массы Солнца, а радиус фотонной сферы $r = 4.8 - 5.2$ гравитационных радиуса.

В дополнение к наблюдениям в полной интенсивности были сделаны также наблюдения в моде линейной поляризации, что может пролить свет на структуру магнитного поля непосредственно в области аккреционного диска черной дыры. Исследования продолжаются.

Литература

1. Jansky Karl G. Popular Astronomy, vol. 41, pp. 548-555; Nature, Volume 132, Issue 3323, pp. 66 (1933).
2. Reber G. Cosmic Static. Proceedings of the IRE, 28: 68-70, 1940.
3. Reber G. Solar Radiation at 480 Mc./sec. Nature, 158(4026):945, 1946.
4. Ewen H.I., Purcell E.M. Observation of a Line in the Galactic Radio Spectrum: Radiation from Galactic Hydrogen at 1,420 Mc./sec. Nature, 168(4270):356, 1951.
5. Thomas A. Matthews, Allan R. Sandage. Optical Identification of 3C48, 3C196, and 3C286 with Stellar Objects. ApJ, 138:30, 1963.
6. Penzias A.A., Wilson R.W. A Measurement of Excess Antenna Temperature at 4080 Mc/s. ApJ, 142:419-421, 1965.
7. Hewish A., Bell S.J., Pilkington J. D.H., Scott P.F., Collins R.A. Observation of a Rapidly Pulsating Radio Source. Nature, 217(5130): 709-713, 1968.
8. Högbom J.A. Aperture Synthesis with a Non-Regular Distribution of Interferometer Baselines. A&AS, 15:417, 1974.
9. Матвиенко Л.И. История РСДБ: становление и развитие. Сообщения ИПА РАН, 2007.
10. Kardashev N.S. et al. RadioAstron Science Program Five Years after Launch: Main Science Results. Solar System Research, 51(7):535-554, 2017.
11. Thompson A., Moran J., Swenson G. Jr. Interferometry and Synthesis in Radio Astronomy.
12. Event Horizon Telescope Collaboration et al. First M87 Event Horizon Telescope. Results. I. The Shadow of the Supermassive Black Hole. ApJ, 875(1):L1, 2019.
13. Event Horizon Telescope Collaboration et al. First Sagittarius A* Event Horizon Telescope Results. I. The Shadow of the Supermassive Black Hole in the Center of the Milky Way. ApJ, 930, L12.
14. Андриянов В. и др. Наземнокосмический радиоинтерферометр «РадиоАстрон», Космические исследования, 2014. Т. 52, № 5. С. 353-359.

Реклама

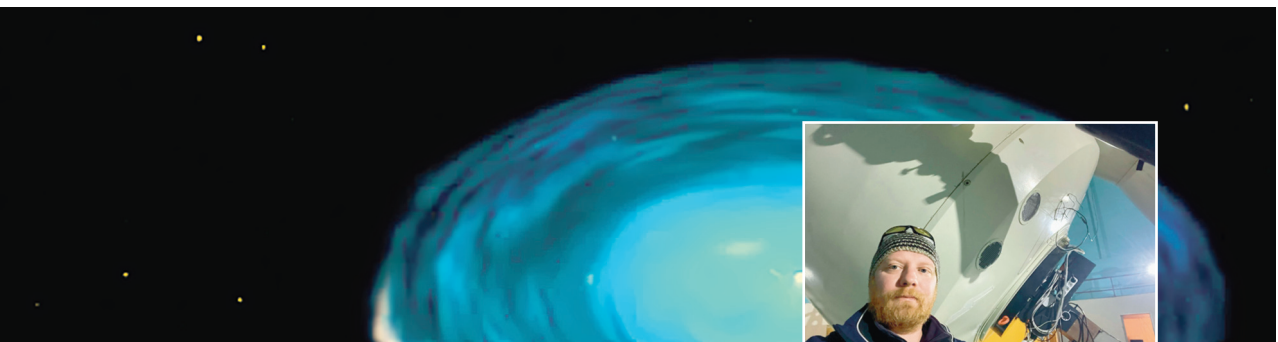
Издательство предлагает услуги по редакционно-издательской подготовке материалов, сборников, а также весь комплекс полиграфических услуг

Издательство «Наука» готово оказать услуги под ключ по организации и проведению семинаров, конференций, презентаций, выставок в конференц-зале и на экспозиционных площадках издательства по адресу:

г. Москва, Шубинский пер., д. 6, стр. 1

По всем интересующим вопросам обращайтесь по тел.: +7(495)276-7735
 Подробная информация на сайте www.naukapublishers.ru/history/partnership

ТОЧКА ПРИОБРЕТАЕТ ФОРМУ, ИЛИ КАК РАБОТАЕТ ДОПЛЕРОВСКАЯ ТОМОГРАФИЯ



КОНОНОВ Дмитрий Алексеевич,

кандидат физико-математических наук

Институт астрономии РАН

DOI: 10.7868/50044394822060020

ВВЕДЕНИЕ

Особое место среди двойных звезд занимают взаимодействующие двойные системы (ВДС), в которых происходит обмен веществом между компонентами системы. Такие объекты представляют собой уникальные естественные лаборатории для исследования поведения вещества в экстремальных условиях, которые никогда не могут быть воспроизведены в земных условиях.

Предположение о том, что в подобных системах присутствуют газовые потоки, было впервые выдвинуто в работе О. Струве еще в 1941 г. для объяснения пекулярных особенностей спектров системы β Лyr. Современные наблюдения и результаты математического моделирования позволяют с уверенностью говорить о том, что газодина-

мическая структура течения в ВДС состоит из потоков, струй, аккреционных дисков, межкомпонентных газовых оболочек и других подобных структур (см. рис. 1). Актуальность исследования процессов массопереноса в ВДС обусловлена необходимостью их учета при рассмотрении эволюции таких систем.

Кроме того, предполагается, что большинство наблюдательных проявлений ВДС, характеризующихся выделением большого количества энергии, обусловлено процессами переноса вещества и последующей аккреции в этих объектах.

ВДС имеют малые размеры и достаточно далеки от Солнца, что делает почти невозможными прямые наблюдения газодинамических структур. Классическим методом исследования структуры течения вещества в ВДС является анализ кривых блеска, а также исследование спектральных особенностей.

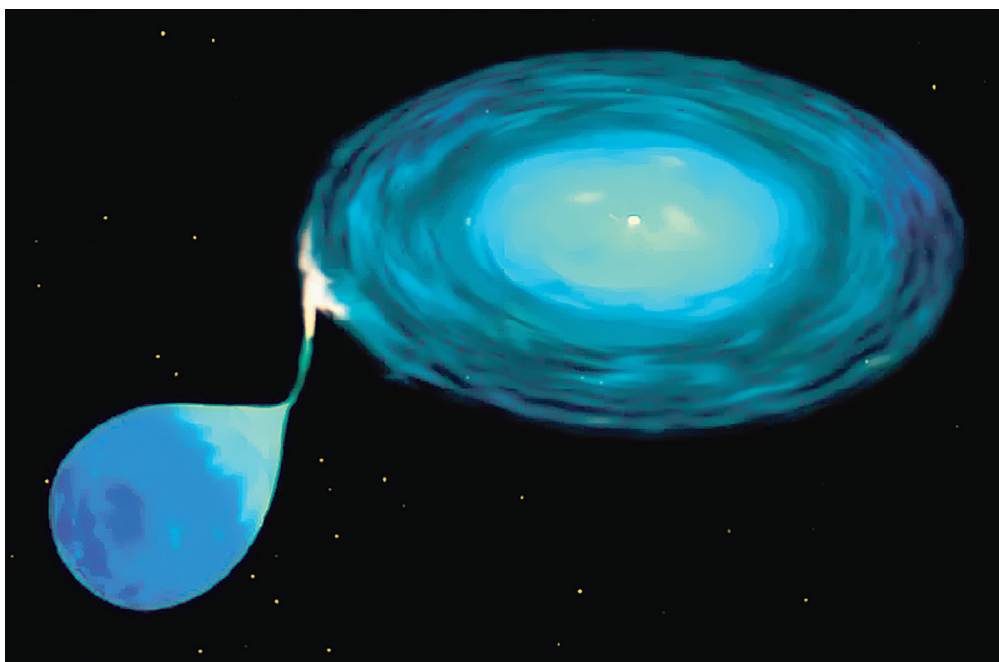


Рис. 1. Взаимодействующая двойная звезда в представлении художника. Вещество перетекает с «нормальной» звезды в полость Роша белого карлика («аккретора») и образует вокруг него аккреционный диск

С развитием астрономической техники в недавнее время были получены коронографические изображения отдельных молодых двойных систем типа Т Tauri (см. рис. 2). Однако это редкие и, можно сказать, уникальные случаи, когда удалось обнаружить относительно близкую к Солнцу молодую двойную звезду, которую способны разрешить современные большие телескопы. Что касается проэволюционировавших катаклизмических переменных звезд, то ни с одним самым совершенным астрономическим инструментом, а также ни с одним из планируемых инструментов разрешить подобную систему как двойную – а уж тем более увидеть какие бы то ни было газодинамические элементы – не представляется возможным. Для прямых наблюдений эти объекты всегда останутся бесконечно малыми светящимися точками на небе.

Однако в 1988 г. английским астрономом Томом Маршем совместно с Кейтом Хорном был предложен метод так называемого непрямого картирования – метод доплеровской томографии, позволяющий получать карты интенсивности излучения в определенных спектральных линиях в пространстве скоростей – так называемые доплеровские томограммы. Такие карты в некотором смысле более наглядны и лучше поддаются интерпретации, чем исходные спектры.

Существенный прогресс в интерпретации доплеровских томограмм произошел в последние годы, когда с развитием вычислительной техники и численных методов моделирования физических процессов появились численные модели газодинамики вещества в ВДС, которые позволяют строить теоретические (синтетические)

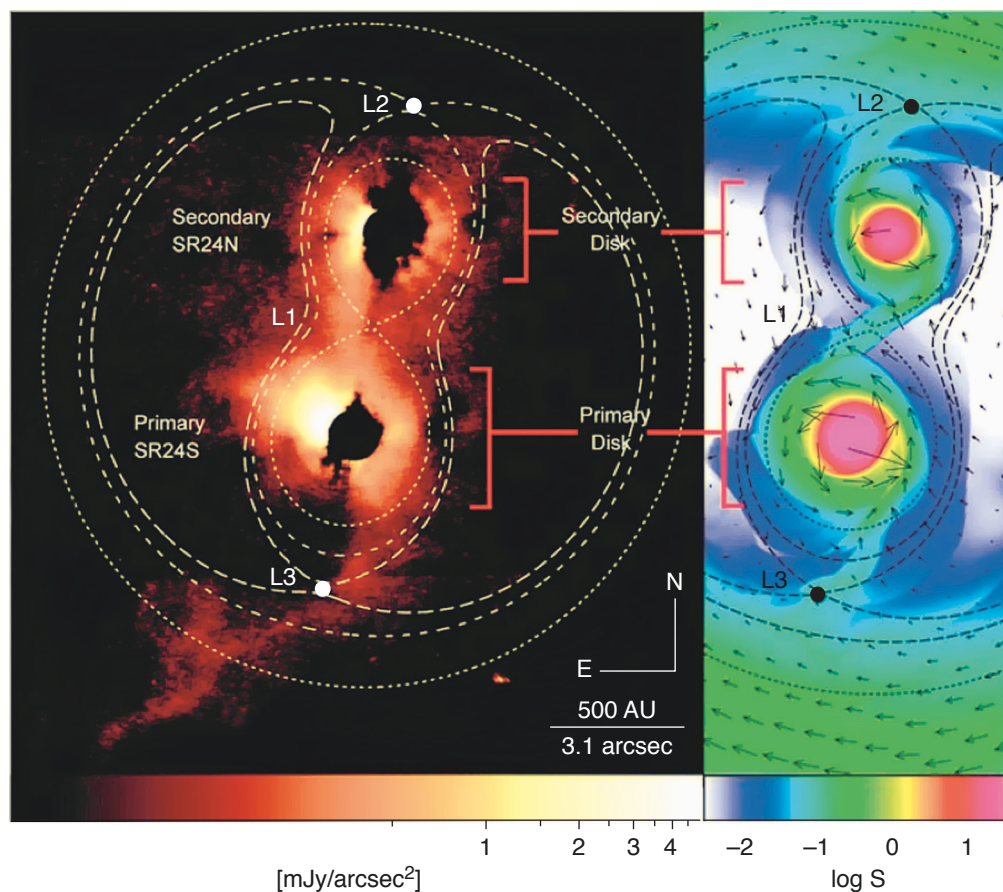


Рис. 2. Изображение звезды SR24, полученное с помощью коронографа Subaru (слева) (рисунок взят из работы Mayama S. et al., 2010) и результаты численного газодинамического моделирования для звезды SR24 (справа)

доплеровские карты. Совместное использование методов доплеровской томографии и численного моделирования представляет собой мощный инструмент исследования газодинамической картины течения в ВДС.

ПРИНЦИПЫ ДОПЛЕРОВСКОЙ ТОМОГРАФИИ

Метод доплеровской томографии позволяет получать распределение интенсивности излучения в определен-

ной спектральной линии в пространстве скоростей.

Математический формализм томографической задачи был сформулирован австрийским математиком Радон в 1917 г. Преобразование Радона представляет собой интегральное уравнение Фредгольма 1 рода типа свертки. В случае доплеровской томографии преобразование Радона записывается в следующем виде (для простоты приведен двумерный случай и отсутствует шум).

$$f(V, \phi) = \iint I(V_x, V_y) q(V - V_r) dV_x dV_y,$$

где $f(V, \phi)$ – профиль линии в зависимости от фазы двойной звезды, $V_r = \gamma - V_x \cos 2\pi\phi + V_y \sin 2\pi\phi$ – лучевая скорость элемента течения во вращающейся системе координат, γ – лучевая скорость центра масс системы относительно Солнца, ϕ – фаза двойной, $I(V_x, V_y)$ – распределение интенсивности в плоскости V_x, V_y (искомая доплеровская томограмма), $q(V - V_r)$ – функция рассеяния точки, которая в идеальном случае является дельта-функцией, а в реальном приборе может быть, например, дифракционной функцией Эйри.

Рассмотрим процесс формирования профиля эмиссионной линии в аккреционном диске. Для простоты предположим, скорости в диске в точности соответствуют кеплеровским, и будем рассматривать двумерный случай, т. е. только экваториальную плоскость системы.

На рис. 3 схематически показано формирование профиля линии при наблюдении системы на фазе 0.25. Фазы отсчитываются по часовой стрелке от момента, когда звезда-донор полностью затмевает звезду-аккретор и центры звезд лежат на луче зрения. Предполагается, что система вращается против часовой стрелки. В нижней части рисунка диск представлен в пространственной (справа) и скоростной (слева) системах координат. Внутри диска в пространственной системе координат тонкими штриховыми линиями показаны кривые равных лучевых скоростей (каждой кривой соответствует своя скорость). То есть точки, попадающие на эти кривые, имеют одинаковые лучевые скорости и дают вклад в одну и ту же частоту в спектральной линии. Видно, что длина кривых разная. Так, например, кривая, на которой лежит точка,

длиннее остальных. Следовательно, если предположить, что все точки диска имеют одинаковую интенсивность, то при формировании профиля на частоте, соответствующей лучевой скорости данной кривой, появится пик. Очевидно, что для схемы, изображенной на рис. 3, вследствие симметрии аналогичный пик появится на частоте, соответствующей равной по модулю и противоположной по знаку лучевой скорости. Таким образом формируется двугорбый профиль линии.

На рис. 3 видно, что кривые равных лучевых в скоростных координатах превращаются в прямые, параллельные лучу зрения. То есть профиль спектральной линии получается интегрированием интенсивностей вдоль каждой такой прямой, что соответствует процессу проецирования в томографии. Таким образом, профиль спектральной линии можно рассматривать как проекцию распределения интенсивности в скоростных координатах.

В силу центральной симметрии схемы, показанной на рис. 4, профили линий будут одинаковыми при наблюдении на любой фазе. Реальные диски не обладают центральной симметрией, и более того, скорости в них могут отличаться от кеплеровских вследствие различных возмущений. На рис. 4 схематически показано, как будет изменяться профиль спектральной линии в зависимости от фазы наблюдений при наличии в диске некоторого образования. Видно, что в спектральной линии появляется дополнительный пик, перемещающийся по профилю в зависимости от фазы наблюдения.

Накапливая в процессе наблюдений профили линий со всех углов зрения, мы получаем последовательную спектрограмму. На рис. 5 в качестве иллюстрации показаны последовательные спектрограммы из работы Бисикало и др., 2008, представляющие

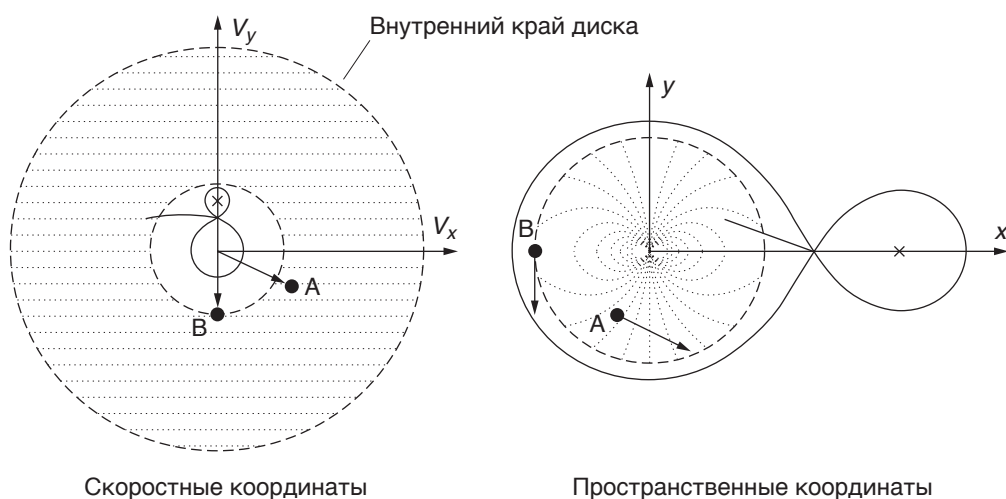
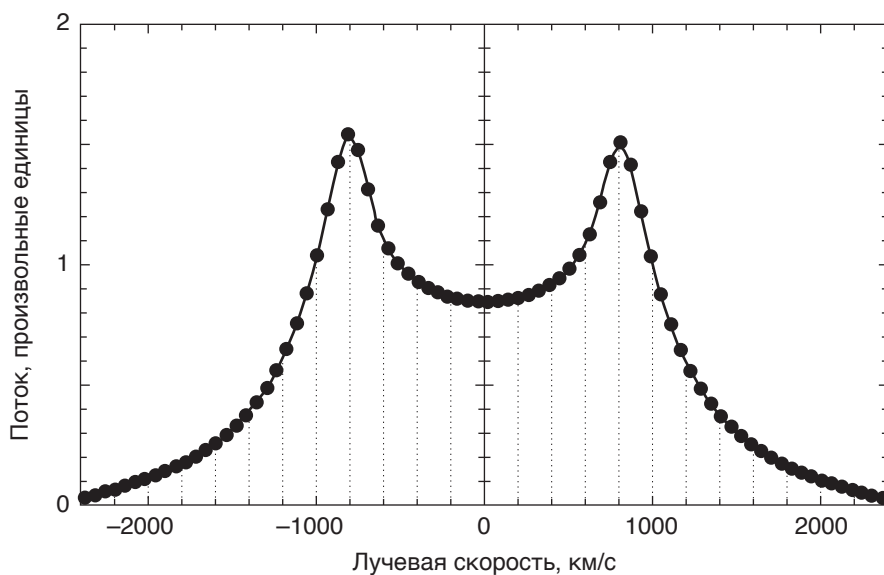


Рис. 3. Схематическое изображение тесной двойной системы и аккреционного диска в пространственных и скоростных координатах (нижняя панель) и принцип формирования профиля спектральной линии (верхняя панель)

собой зависимость потока излучения в определенной линии от лучевой скорости и фазы двойной звезды. Если те структуры, которые формируют упомянутые выше дополнительные пики на профиле, покоятся в системе коор-

динат, вращающейся вместе с двойной звездой, то пики, в зависимости от фазы, будут перемещаться по профилю не хаотически. Они будут формировать на последовательных спектрограммах так называемые S-волны.

Эти S-волны хорошо видны на рисунке.

Таким образом, из наблюдений мы получаем функцию $f(V, \phi)$ (последовательная спектрограмма), из калибровок приборов нам известна функция $q(V - V_r)$. Эти функции являются исходными данными в задаче доплеровской томографии.

Решая уравнение, представленное выше, относительно неизвестной функции $I(V_x, V_y)$, мы получаем доплеровскую томограмму, то есть распределение интенсивности излучения в пространстве скоростей. Пример доплеровской томограммы показан на рис. 6.

Необходимо отметить, что задача доплеровской томографии основана на предположении о том, что газовые потоки в ВДС прозрачны для излучения в наблюдаемых эмиссионных линиях. В противном случае форму профиля линии уже нельзя будет представить простым соотношением, описанным выше. Это достаточно сильное ограничение, но практика применения доплеровской томографии показывает, что до определенной степени точности это условие действительно выполняется.

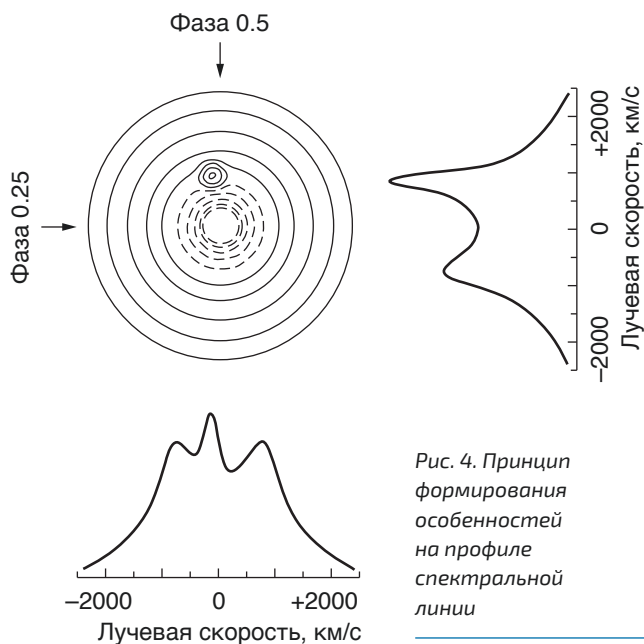


Рис. 4. Принцип формирования особенностей на профиле спектральной линии

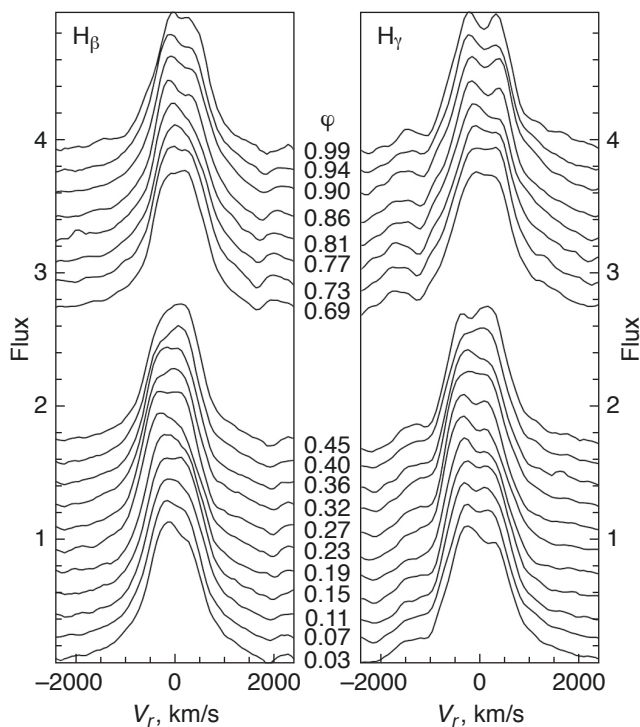


Рис. 5. Последовательная спектрограмма в линиях H_β и H_γ . Рисунок взят из работы Бисикало и др., 2008 г.

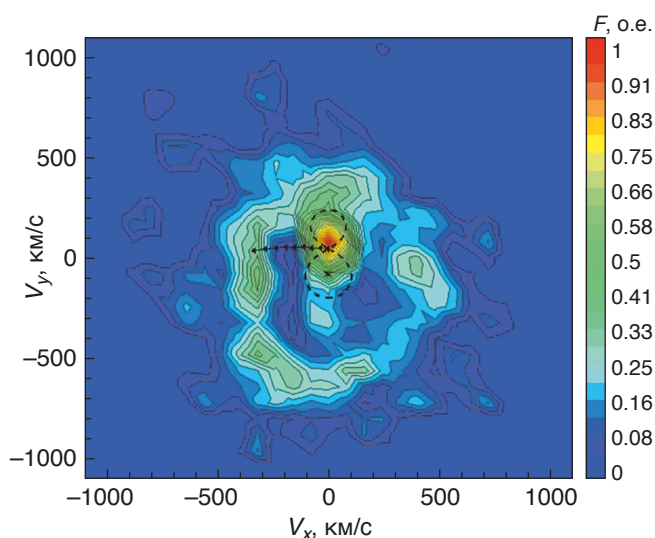


Рис. 6. Доплеровская томограмма системы SS Cygni в линии H_γ . Штриховой линией показаны полости Роша донора (сверху) и аккректора (снизу). Сплошная линия с треугольниками соответствует баллистической траектории частицы, вылетающей из внутренней точки Лагранжа. Звездочкой обозначено положение аккректора. Томограмма взята из диссертации автора

Главной проблемой, с которой сталкивается исследователь при работе с доплеровскими томограммами, является то, что однозначного перехода из поля скоростей в пространственные координаты не существует. Это обусловлено тем фактом, что две точки в пространстве координат, сколь угодно сильно удаленные друг от друга, могут иметь одинаковые компоненты скорости газа и давать вклад в одно и то же место на доплеровской томограмме. В данном случае единственным способом разрешить задачу является сравнение доплеровских томограмм с результатами численного газодинамического моделирования. Так, например, в своей работе Кузнецов О.А. и др. (2001) провели компьютерное моделирование системы IP Peg, посредством численного решения газодинамических уравнений получили распределения в пространстве плотности вещества, темпера-

туры и векторов скорости течения газа. На основании этих данных была построена синтетическая доплеровская карта системы (см. рис. 7), на которой авторы отождествили присутствующие в течении вещества особенности (ударные волны, струи и т.п.). В данном случае однозначное отождествление элементов течения на томограмме возможно благодаря тому, что мы можем осуществить прямой переход из пространственных координат в скоростные, поскольку результаты

математического моделирования однозначно связывают пространственные координаты и соответствующие им значения плотности, температуры и скорости.

Далее, если мы имеем наблюдательную доплеровскую томограмму системы, мы можем сравнить ее с нашими теоретическими предсказаниями и выяснить, какие элементы течения могут присутствовать в реальной системе. Ниже будут рассмотрены некоторые примеры подобного сравнения и результаты, позволившие объяснить некоторые особенности реальных взаимодействующих двойных систем.

ДОПЛЕРОВСКАЯ ТОМОГРАФИЯ МОЛОДЫХ ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД

Одним из ярких примеров того, как совместный анализ доплеровских томо-

грамм и результатов численного моделирования помогает получить детальные сведения о структуре течения во взаимодействующих двойных звездах, является исследование молодой двойной системы V 4046 Sgr, проведенное в 2014 году, в котором автор принимал непосредственное участие. В работе были использованы спектры звезды V 4046 Sgr, полученные Стемпельсом и Гамом на телескопе VLT (см. работу Stempels & Gahm, 2004). «Сырые» данные наблюдений были получены из архива Южной Европейской Обсерватории (ESO) и обработаны в программном пакете ESO-MIDAS. По профилям эмиссионных линий серии Бальмера построены доплеровские томограммы для исследуемой звезды.

Было проведено численное газодинамическое моделирование звезды, которое показало, что вследствие сверхзвукового движения компонент (звезд в двойной системе) перед ними образуются отошедшие ударные волны. Два потока газа вдоль этих волн во внутреннюю область системы, сталки-

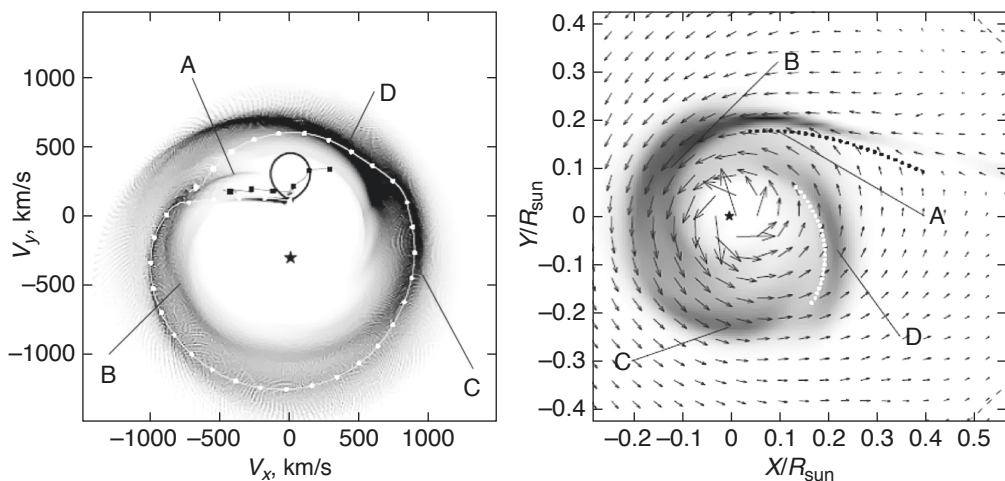
ваясь, образуют стоячую ударную волну-перемычку.

Совместный анализ результатов численного моделирования и доплеровских томограмм (см. рис. 8) позволил определить, какие элементы течения отвечают за формирование эмиссионных линий в спектре звезды. Оказалось, что эмиссионные линии серии Бальмера формируются в основном в потоках газа к компонентам системы вдоль стоячей ударной волны-перемычки, а также в потоках вещества вдоль отошедших ударных волн, а не в потоках к точкам Ланранжа L1 и L2, как это предполагали Стемпельс и Гам в своей работе 2004 г.

Данная работа является первым примером применения метода доплеровской томографии к звездам типа T Tauri. Ранее этот метод не применялся к звездам этого класса, однако успех применения доплеровской томографии к звезде V 4046 Sgr дает основания полагать, что ее можно и в дальнейшем применять для исследования газодинамики молодых двойных звезд.

Рис. 7. Результаты газодинамических расчетов для системы IP Peg (правая диаграмма) и соответствующая им синтетическая доплеровская карта системы.

Рисунок взят из работы Кузнецов О.А. и др., 2001



МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ КРИВЫХ БЛЕСКА КАТАКЛИЗМИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЕЗД ТИПА WZ Sge

Недавно, по результатам численного моделирования газодинамики в тесной двойной системе V455 Andromedae, принадлежащей к подклассу катаклизмических переменных звезд типа WZ Sge, автором соавторизи был предложен механизм формирования характерных двугорбых (а иногда и многогорбых) кривых блеска этих объектов (об этом можно почитать в работе Кононов Д.А. и др., 2015). Суть модели состоит в том, что горбы на кривой блеска возникают вследствие последовательного усиления ударных волн в аккреционном диске в результате взаимодействия этих волн с особой прецессионной волной плотности.

Для проверки предложенной модели в сентябре 2014 г. были проведены одновременные спектральные и фотометрические наблюдения катаклизмической переменной V455 Andromedae, принадлежащей к подклассу WZ Sge. Фотометрия производилась в Коуровской астрономической обсерватории УрФУ на 70-сантиметровом телескопе «Кассегрен 700», оснащенный двухканальным фотометром. Спектральные наблюдения проводились в обсерватории пика Терскол (ТФ ИНАСАН) на телескопе «Цейсс-2000» с помощью подвесного спектрометра MMCS со спектральным разрешением около 3500.

С использованием профилей эмиссионной линии H_{α} , полученных при наблюдениях в десяти различных интервалах орбитальных фаз 0.0–0.5, 0.1–0.6, ..., 0.9–1.4, построено 10 доплеровских томограмм системы V455 And. Анализ полученных томограмм показал, что наибольшие поярчания определенных участков возникают на томо-

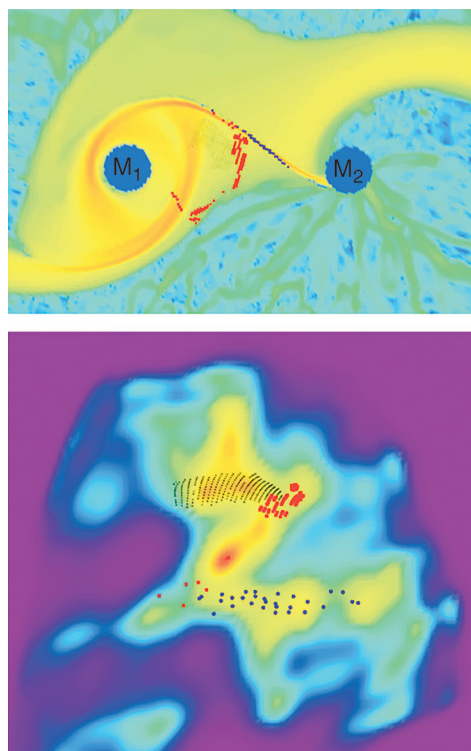


Рис. 8. Верхняя диаграмма: распределение плотности в экваториальной плоскости системы V4046 Sgr (центральная область). Нижняя диаграмма: центральная часть наблюдательной доплеровской томограммы в линии H_{10} . Буквами M_1 и M_2 на верхней диаграмме обозначены более массивный и менее массивный компоненты соответственно. На распределение плотности и наблюдательную томограмму нанесены соответствующие маркеры, которые позволяют отождествить на наблюдательной томограмме соответствующие элементы течения

граммах, построенных по профилям, наблюдавшимся в интервалах орбитальных фаз системы 0.2–0.7 и 0.8–1.3. Расположение участков, в которых наблюдаются поярчания, позволяет отождествить их с «горячей линией» – ударной волной, возникающей в результате взаимодействия околodискового гало со струей вещества из внутренней

точки Лагранжа, и отошедшей ударной волной, возникающей вследствие сверхзвукового движения аккректора и аккреционного диска в газе межкомпонентной оболочки. При этом на томограммах, построенных по профилям, полученным в других интервалах фаз, те же самые участки не выделяются особой яркостью. В этих же самых интервалах орбитальных фаз (0.2–0.7 и 0.8–1.3) наблюдаются горбы на кривых блеска, полученных одновременно со спектрами.

Кроме того, по результатам численного моделирования, были построены синтетические профили эмиссионных спектральных линий. С использованием этих профилей были рассчитаны синтетические доплеровские томограммы системы V455 And в тех же интервалах орбитальных фаз, что и наблюдательные томограммы. Сравнение поведения синтетических и наблюдательных томограмм выявило их поразительное сходство, что дает все основания полагать, что предложенная в работе модель формирования кривых блеска верна и горбы на них действительно возникают вследствие усиления определенных ударных волн при взаимодействии с прецессионной полной плотности. Подробнее о проведенных исследованиях можно почитать в работе Kononov et al., 2017.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанный в статье метод доплеровской томографии был впервые представлен в 1988 г. и позволил совершить прорыв в наблюдательных исследованиях газодинамических процессов во взаимодействующих двойных звездах. С его помощью было подтверждено наличие в реальных объектах различных феноменов и структур, таких как газовые потоки, аккреционные диски, ударные волны в этих дисках. В насто-

ящее время метод динамично развивается. Уже существуют компьютерные программы для построения трехмерных доплеровских томограмм, которые позволят исследовать структуру течения во взаимодействующих двойных звездах с сильными магнитными полями, где потоки существенно трехмерны. Также развитие и модернизации подходов к доплеровской томографии позволяют обнаруживать в структуре течения те детали, которые были недоступны для оригинального метода. Метод доплеровской томографии позволил недоступным, бесконечно малым светящимся точкам на небе обрести форму и открыть талящиеся в них удивительные физические явления.

Литература

1. Кононов Д.А., Бисикало Д.В., Пузин В.Б. и др. О возможном механизме формирования горбов на орбитальных кривых блеска в катаклизмических переменных звездах типа WZ Sge // *Астрон. журн.* 2015.
2. Кузнецов О.А., Бисикало Д.В., Боярчук А.А., Хрузина Т.С., Черепашук А.М. Синтетические доплеровские карты газовых потоков в IP Peg // *Астрон. журн.* 2001. Т. 78. С. 997.
3. Kononov D., Lacy C., Puzin V.B. et al. The Golden Age of Cataclysmic Variables and Related Objects IV. 11–16 September, 2017. Palermo, Italy. Online at <https://pos.sissa.it/cgi-bin/reader/conf.cgi?confid=315>, id.31, 2017.
4. Marsh T.R., Horne K. Images of accretion discs. II – Doppler tomography // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 1988. Vol. 235. P. 269.
5. Mayama S., Tamura M., Hanawa T. et al. Direct Imaging of Bridged Twin Protoplanetary Disks in a Young Multiple Star // *Science*. 2010. V. 327. P. 306–308.
6. Radon J. Über die Bestimmung von Funktionen durch ihre Integralwerte längs gewisser Mannigfaltigkeiten // *Berichte Sachsische Akademie der Wissenschafte*. 1917. Vol. 29. P. 262–277.
7. Stempels H.C., Gahm G.F. The close T Tauri binary V 4046 Sagittarii // *Astron. Astrophys.* 2004. V. 421. P. 1159–1168.
8. Struve O. The spectrum of β Lyrae // *Astrophys. J.* 1941. Vol. 93. P. 104.

ТЕНИ ЧЕРНЫХ ДЫР: ПОИСК ЧЕРНОЙ КОШКИ В ТЕМНОМ КОСМОСЕ



ЦУПКО Олег Юрьевич,

кандидат физико-математических наук
Институт космических исследований РАН

DOI: 10.7868/50044394822060032

Черные дыры являются одними из безусловных лидеров по популярности среди космических объектов. Они важны не только для ученых-специалистов, но интересны и самым широким кругам, включая школьников, любителей астрономии и просто искателей неизведанного. Будучи невидимыми в обыденном понимании этого слова, черные дыры выдают свое присутствие активнейшим воздействием на окружение. В результате ученые обладают рядом убедительных, хотя и косвенных свидетельств существования черных дыр. Однако в 2019 году в этой области произошло по-настоящему знаковое событие, привлечшее широкое общественное внимание: впервые было представлено изображение сверхмассивной черной дыры. Такое изображение называется «тень черной дыры» и является прямым и самым убедительным доказательством существования этого

объекта. Тень черной дыры и есть ключ к пониманию того, как увидеть невидимое. В этой статье дается понятие тени и объясняется, каким образом и какую информацию о черной дыре можно получить по этим наблюдениям.

НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА СУЩЕСТВОВАНИЯ ЧЕРНЫХ ДЫР

Существование черных дыр является одним из фундаментальных предсказаний общей теории относительности. Черная дыра представляет собой область пространства-времени, где гравитация настолько сильна, что ничто, даже свет, не может покинуть эту область. Граница последней носит название «горизонт событий». Сильнейшее гравитационное поле создается за счет того, что огромная масса сосредоточена в очень малых масштабах.

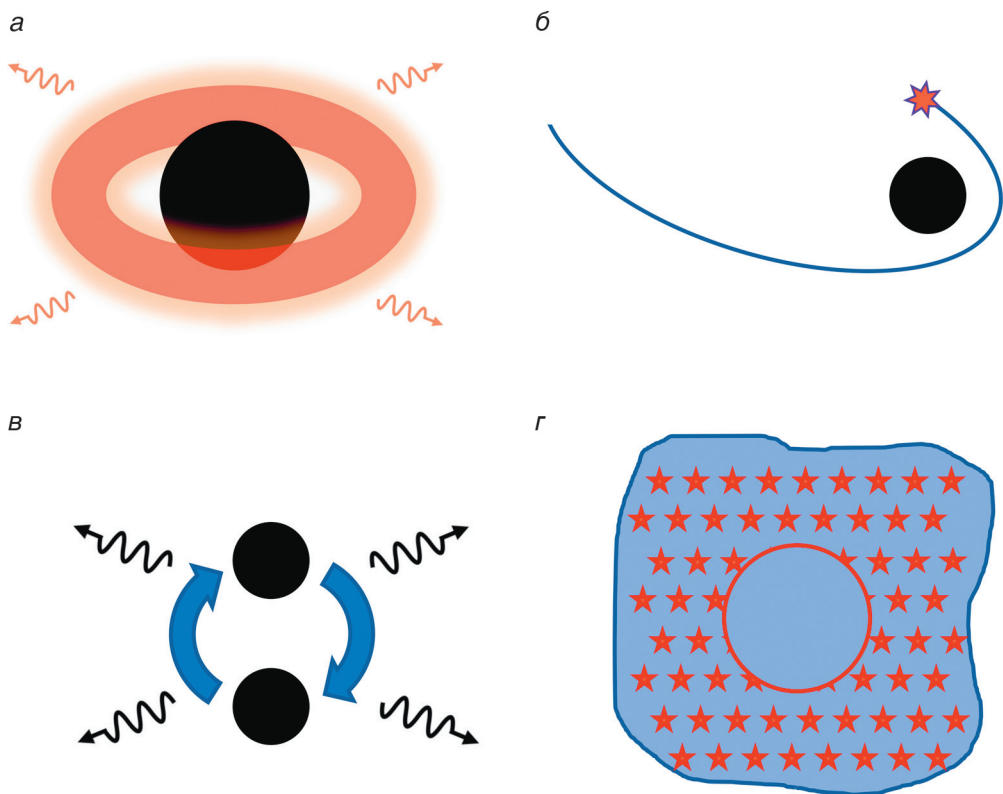


Рис. 1. Наблюдательные подтверждения существования черных дыр: а – излучение вещества, падающего на черную дыру; падающее (аккрецирующее) вещество может собираться во вращающийся диск; б – слежение за траекториями звезд, вращающихся вокруг сверхмассивной черной дыры; в – детектирование гравитационных волн от слияния двух черных дыр; г – темный силуэт черной дыры на ярком фоне других источников, так называемая «тень черной дыры». Рисунок автора

Окружающий мир доступен наблюдениям благодаря электромагнитному взаимодействию: так, в оптическом диапазоне лучи света, испущенные или отраженные предметами, попадают к нам в глаза и делают предметы видимыми. Телескопы позволяют наблюдать не только в оптическом, но и в других диапазонах электромагнитных волн. С черными дырами возникает очевидная проблема: они захватывают весь падающий на них свет, т. е. ничего не отражают. Кроме того, черные дыры ничего не излучают (не считая гипотетического излучения Хокинга,

которое пока экспериментально не подтверждено).

Тем не менее о существовании черных дыр можно судить по их гравитационному воздействию на окружение: на падающее вещество, на ближайшие звезды, на лучи света. Поскольку гравитация черных дыр очень сильна, то возникают специфические эффекты, которые позволяют достаточно надежно говорить о существовании этих объектов.

В настоящий момент имеются убедительные свидетельства существования черных дыр звездных масс и сверхмассивных черных дыр: по электромаг-

нитным проявлениям их окружения, а также по регистрации порожденных ими гравитационных волн. Наконец, две черные дыры впервые удалось непосредственно «сфотографировать».

Самый понятный и хорошо изученный наукой механизм образования черной дыры – это сжатие (коллапс) массивной звезды на конечной стадии ее эволюции под действием собственной гравитации. Если первоначальная масса звезды достаточно велика, то в итоге в результате коллапса образуется черная дыра. Такие объекты называются черными дырами звездных масс, поскольку их обычная масса составляет несколько масс Солнца. Согласно гравитационно-волновым наблюдениям, существуют черные дыры массами в несколько десятков масс Солнца.

Черные дыры звездных масс можно изучать в двойных системах, когда черная дыра располагается в паре с обычной звездой-компаньоном. В этом случае может возникнуть поток вещества со звезды-компаньона на черную дыру (аккреция), в результате чего увеличивается светимость и возникает яркий источник, который можно наблюдать. Таким образом, появляется возможность изучить компактный объект и определить, может ли он быть черной дырой.

Важным шагом в подтверждении существования черных дыр стало первое наблюдение гравитационных волн в 2015 году. Форма полученного гравитационно-волнового сигнала согласуется с моделью слияния двух черных дыр массами в несколько десятков масс Солнца. В статье, описывающей это открытие (Abbott et al., 2016), авторы отмечают: «Эти наблюдения демонстрируют существование двойных систем черных дыр звездных масс. Это первое прямое обнаружение гравитационных волн и первое наблюдение слияния двойных черных дыр». Резуль-

тат был удостоен Нобелевской премии 2017 года.

Считается, что в центре большинства галактик находится сверхмассивная черная дыра. Сверхмассивные черные дыры гораздо больше черных дыр звездных масс: их масса составляет от миллионов до десятков миллиардов масс Солнца. За счет аккреции вещества на сверхмассивную черную дыру могут возникать очень компактные и очень мощные источники излучения, находящиеся на больших расстояниях, – квазары.

Ближайшая к нам сверхмассивная черная дыра находится в центре нашей Галактики (радиоисточник Стрелец A*; англ. Sagittarius A* или, кратко, Sgr A*). Начиная с 90-х годов прошлого века, в течение многих лет, ученые следили за траекториями отдельных звезд вокруг центра Галактики. Исходя из анализа орбит звезд, было установлено, что звезды вращаются вокруг невидимого объекта огромной массы, в несколько миллионов солнечных масс. При этом вся масса этого объекта сосредоточена внутри области, ограниченной совокупностью прослеженных орбит. Окажись иначе, звезды, очевидно, столкнулись бы с указанным центральным объектом. Результаты анализа орбит сложно объяснить чем-то иным, нежели присутствием центральной сверхмассивной черной дыры – очень массивного и очень компактного объекта.

В 2020 году эти результаты были также удостоены Нобелевской премии по физике, согласно формулировке, «за открытие сверхмассивного компактного объекта в центре нашей Галактики». Как отмечено в пресс-релизе Нобелевского комитета, «их новаторская работа дала нам наиболее убедительные доказательства существования сверхмассивной черной дыры в центре Млечного Пути».

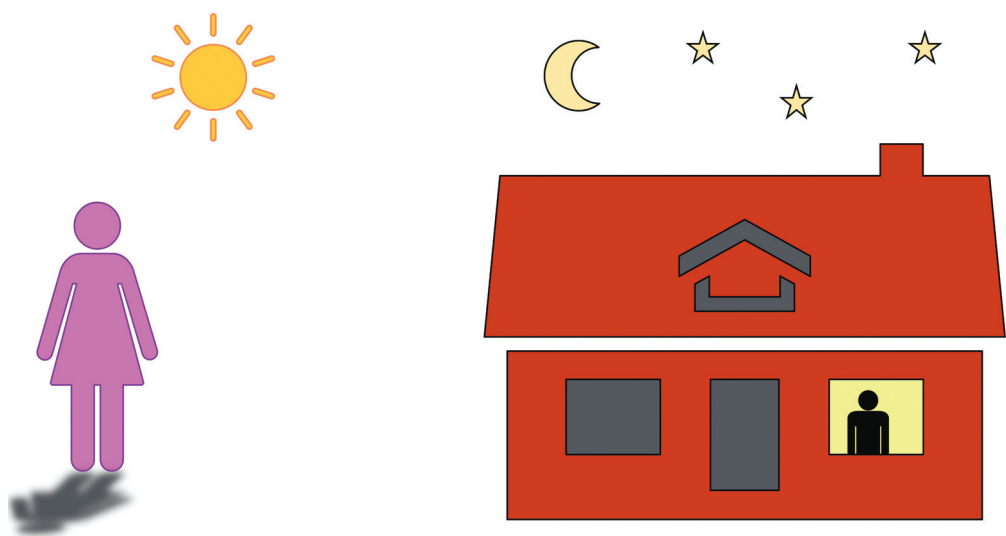
Таким образом, и до 2019 года, когда была опубликована фотография черной дыры, сомнений в существовании черных дыр уже было очень мало. Тем не менее прямое изображение черной дыры стало самым весомым доказательством их существования.

ТЕНЬ ЧЕРНОЙ ДЫРЫ: ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА

Черные дыры, как обсуждалось выше, действительно невидимы: они захватывают падающий свет и ничего не излучают. В связи с этим возникает вопрос: как можно наблюдать такой объект? Ответ заключается в том, что при наличии других источников света можно «видеть» силуэт черной дыры, представляющий собой темное пятно на ярком фоне этих источников. Такое пятно обычно называют тенью черной дыры (black hole shadow). Почему используется именно слово «тень» – поясняется на рисунке.

Термин «тень» в настоящее время стал наиболее употребительным, но можно встретить и другие, эквивалентные с точки зрения рассматриваемого эффекта названия: «силуэт черной дыры», «изображение черной дыры», «сечение захвата лучей». Здесь уместно обратить внимание читателя на то, что само слово «тень» может иметь различные значения. Наиболее используемое значение – это темная область, создаваемая на поверхности (экране или земле) каким-то препятствием, расположенным между источником световых лучей и поверхностью. Например, это может быть тень человеческой фигуры или здания в солнечный день. Другое значение слова «тень» – это темный силуэт объекта, который возникает, когда мы смотрим на него на светлом фоне. В этом случае мы не можем различить детали этого объекта, а видим только его внешнюю форму. Например, так происходит, когда в темное время суток мы смотрим снаружи на светлое окно: мы видим темные силуэты людей в комнате.

Рис. 2. Две различные интерпретации понятия «тень» (см. текст). Рисунок автора



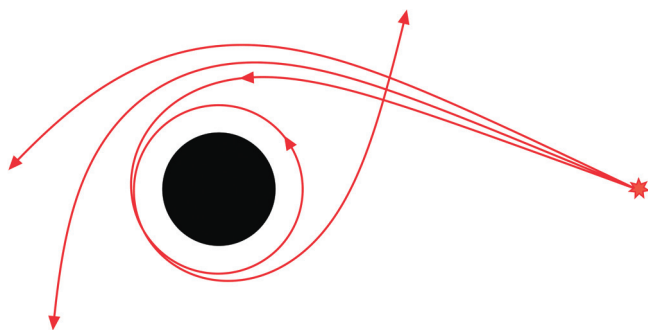


Рис. 3. Траектории лучей света вблизи черной дыры. Лучи, проходящие очень близко к черной дыре, могут двигаться по окружностям вокруг нее. Из таких круговых орбит фотонов состоит так называемая фотонная сфера. Результат численного моделирования. Рисунок автора

В случае с тенью черной дыры слово «тень» используется скорее во втором значении. Таким образом, под тенью черной дыры следует понимать темный силуэт черной дыры на светлом фоне.

Важным аспектом рассматриваемого вопроса является то, что из-за сильного искривления лучей света под действием гравитации черной дыры ее силуэт оказывается искаженным. И размер, и форма темного пятна отличаются от того, что мы могли бы ожидать, глядя на негравитирующий черный шар в повседневной жизни.

Окончательное определение тени черной дыры может быть сформулировано следующим образом: тень черной дыры – это темный силуэт черной дыры на ярком фоне, видоизмененный за счет гравитационного искривления света.

Образование тени связано с особенностями движения лучей света вблизи черной дыры. Гравитация черной дыры может сильно изменять их траектории.

Чем «ближе» исходное направление испущенного далеким источником луча к направлению на черную дыру, тем сильнее искривляется траектория луча. Так, луч, проходящий очень близко к сферически-симметричной черной дыре, может обернуться вокруг нее несколько раз и только после этого удалиться. Вблизи черной дыры становятся возможными даже круговые орбиты фотонов. Однако такие орбиты

неустойчивы: если фотон, образно говоря, чуть-чуть «подтолкнуть» наружу, то он сделает несколько оборотов и улетит от черной дыры; если же «подтолкнуть» по направлению к центру, то он по спирали упадет на черную дыру. Множество круговых орбит вокруг черной дыры составляет так называемую фотонную сферу.

Фотонная сфера играет ключевую роль в образовании тени черной дыры. Именно лучи, «навивающиеся» на фотонную сферу, определяют границу тени. Поэтому размер тени фактически определяется не размером самой черной дыры (т. е. размером ее горизонта событий), а размером фотонной сферы, окружающей черную дыру. Более того, видимый угловой размер тени дополнительно увеличивается за счет того, что лучи двигаются к наблюдателю вдоль искривленных траекторий.

Представим себе, что в повседневной жизни мы смотрим издали на какой-то черный шар. То, насколько большим этот шар будет нам казаться, зависит от размера шара и от его удаленности от нас. Видимый нами угловой размер шара легко вычислить: нужно разделить линейный размер шара (т. е. диаметр) на расстояние до него. Однако если теперь вместо шара мы возьмем черную дыру такого же диаметра, то видимый угловой размер ее изображения (тени) вычислить таким же образом не получится. Дело в том, что тень

черной дыры не совпадает по размеру с угловым размером горизонта событий черной дыры, каким он бы виделся в плоском пространстве (т. е. если бы все лучи двигались прямолинейно). Кроме того, угловой размер тени не совпадает с угловым размером фотонной сферы при наблюдении в плоском пространстве. На рис. 4 показан реальный угловой размер тени черной дыры: он больше воображаемого

углового размера черной дыры в плоском пространстве в 2.6 раз. Такое отличие обусловлено двумя эффектами: во-первых, следует брать размер фотонной сферы, а не размер горизонта событий, а во-вторых, необходимо учитывать искривление лучей по пути к нам.

Как объяснено выше, в случае невращающейся сферически-симметричной черной дыры (черной дыры Шварцшильда) разница между ее тенью и воображаемым изображением черного негравитирующего шара такого же радиуса заключается только в видимом угловом размере: тень примерно в два с половиной раза больше. Для вращающейся же черной дыры у тени меняется еще и форма: тень деформируется и становится сплюснутой с одной стороны. Это связано с тем, что лучи света вблизи вращающейся черной дыры двигаются по-разному, в зависимости от того, двигаются ли они по направлению вращения или против этого направления. Таким образом, по степени деформации тени черной дыры можно судить о том, насколько сильно она вращается.

Обсудим образование тени в случае сферически-симметричной черной дыры. Представим сначала, что

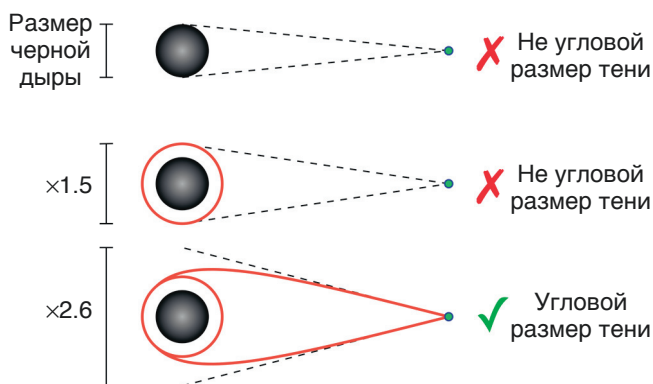


Рис. 4. Правильное измерение углового размера тени черной дыры. Рисунок автора.

некоторый источник света испускает лучи в разных направлениях. Испущенные лучи можно разделить на два типа. Лучи первого типа отклоняются черной дырой и улетают от нее. Лучи второго типа идут к горизонту черной дыры и поглощаются ею. Два типа лучей разделяются лучами, которые по спирали навиваются на фотонную сферу, заполненную неустойчивыми круговыми световыми орбитами. Лучи, проходящие очень близко к фотонной сфере, могут несколько раз обернуться вокруг нее, прежде чем улететь от черной дыры. Теперь представим, что в том месте, где находился источник, испускавший лучи, теперь находится наблюдатель, принимающий лучи. Кроме того, со всех сторон вокруг черной дыры мысленно расположим множество источников света. Каждый такой источник испускает лучи во всех направлениях, но нам интересны только те лучи, которые придут к наблюдателю. Траектории таких лучей будут точно такие же, как в первом случае единичного далекого источника. Однако среди фотонов, достигающих наблюдателя, не будет фотонов, захваченных черной дырой. Следовательно, конус, ограниченный световыми лучами, которые спиралевидно

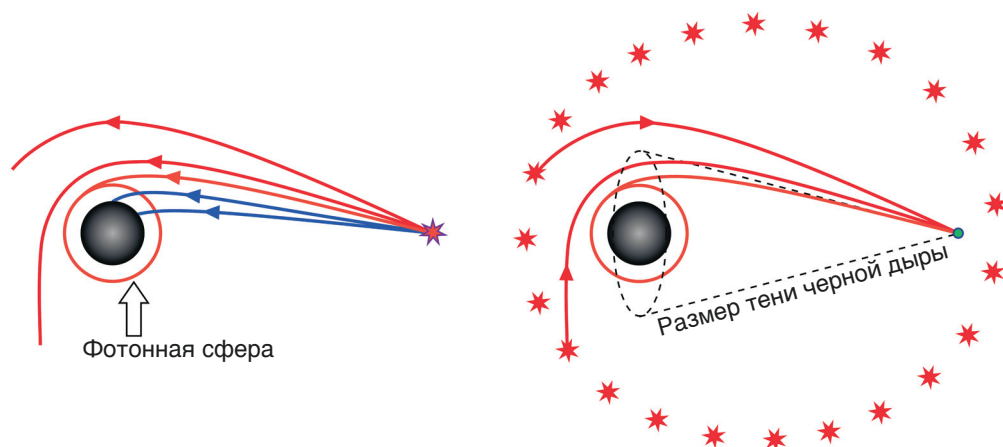


Рис. 5. Детализированная схема возникновения тени черной дыры в идеализированной ситуации, когда все источники света расположены далеко от черной дыры. Справа: наблюдатель окружен со всех сторон источниками света. Не будь черной дыры, небо наблюдателя было бы целиком ярким. Но из-за наличия черной дыры часть неба (пунктирный конус на рисунке) остается темной. Эта часть неба и является тенью черной дыры. Слева: источник света, черная дыра, фотонная сфера и навивающиеся на нее лучи (показано оранжевым цветом), траектории лучей, избежавших черной дыры (показано красным цветом), траектории лучей, падающих на черную дыру (показано синим цветом). Рисунок автора

двигутся к фотонной сфере, будет пустым (темным), поэтому наблюдатель увидит в небе черный диск – тень черной дыры.

Размер и форма тени черной дыры зависят от нижеследующих основных факторов. Во-первых, это параметры черной дыры. Как уже было сказано, тень деформируется, если черная дыра вращается. Если черная дыра обладает какими-то дополнительными свойствами, например, электрическим зарядом, то это тоже повлияет на наблюдаемый размер тени. Вторым фактором является положение наблюдателя. Так, если черная дыра вращается, то она наиболее деформирована для наблюдателя, смотрящего на ее экватор. Если же наблюдатель смотрит на полюс, то тень будет круглой. Третьим фактором являются свойства областей, через которые проходит свет на пути к наблюдателю. Например, если черная дыра

окружена плазмой, то в дополнение к гравитационному отклонению возникает преломление. Траектории лучей изменяются и будут разными на разных частотах. Размер тени будет зависеть от частоты, на которой проводятся наблюдения. Наконец, на распространение лучей света от окрестностей черной дыры к наблюдателю влияет расширение Вселенной. Этот вопрос мы обсудим ниже.

НАБЛЮДЕНИЯ ТЕНЕЙ ЧЕРНЫХ ДЫР В ПРОЕКТЕ ЭНТ (EVENT HORIZON TELESCOPE)

Выше мы рассматривали идеализированную ситуацию, когда все источники света удобно расположены за черной дырой и создают сплошной яркий фон для тени. На практике такое, конечно, невозможно. Наблюдать тень можно,

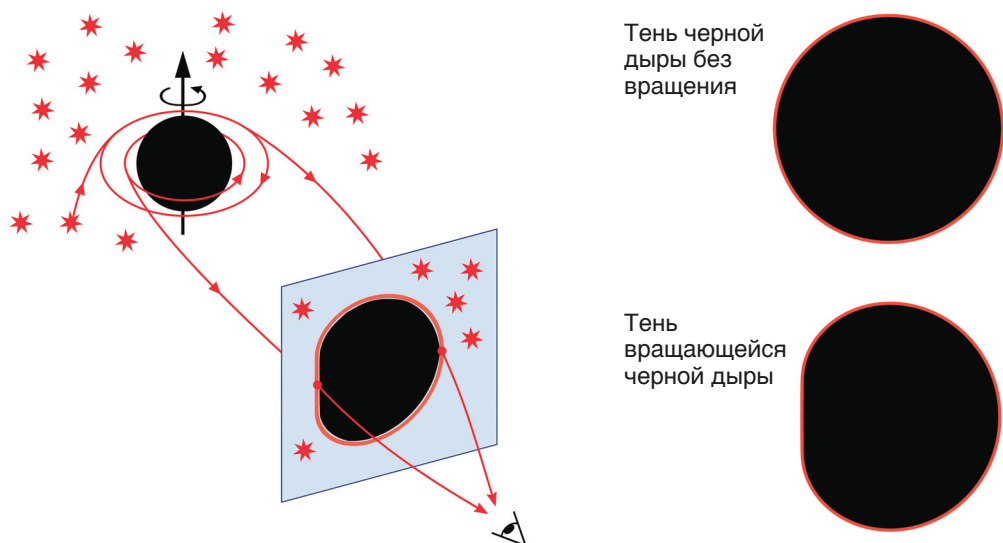


Рис. 6. Формирование тени вращающейся черной дыры, видимой наблюдателем в экваториальной плоскости. Круговые орбиты лучей вокруг вращающейся черной дыры имеют разный радиус в зависимости от направления вращения. В результате этого тень вращающейся черной дыры приплюснута с одной из сторон. Для сравнения показаны тень невращающейся черной дыры (параметр вращения равен нулю), и тень вращающейся черной дыры, имеющей параметр вращения, составляющий 99.99% от максимально возможного. Рисунок автора

по-видимому, только на фоне светящейся материи, находящейся в непосредственной близости от черной дыры. Это вещество, например, в виде аккреционного диска, может частично перекрывать тень. Поэтому реальная картина будет сильно зависеть от профиля излучения, а также будет «размыта» различными эффектами. Для получения реалистического изображения тени, для каждой черной дыры нужно проводить сложное численное моделирование с расчетом траекторий множества лучей.

Однако основная проблема в наблюдении тени состоит в том, что тень чрезвычайно мала, поскольку черная дыра – очень и очень компактный объект. Следовательно, нужно искать черную дыру покрупнее. Именно поэтому естественными кандидатами становятся сверхмассивные черные дыры в цен-

трах галактик. Но даже для черных дыр с гигантской массой угловой размер тени будет очень мал, поскольку они находятся далеко от нас.

В настоящее время есть два наиболее подходящих объекта для наблюдения. Прежде всего, это черная дыра в центре нашей Галактики. Очевидно, она является ближайшей сверхмассивной черной дырой. Второй объект – это черная дыра в центре галактики М87. Оцениваемая масса этой черной дыры составляет несколько миллиардов масс Солнца.

Черные дыры обладают уникальным свойством: размер прямо пропорционален массе. Так, если черная дыра в тысячу раз массивнее, то она и в тысячу раз больше. Поэтому и видимый угловой размер тени пропорционален массе черной дыры. С другой стороны, угловой размер тени обратно

пропорционален расстоянию до черной дыры: чем черная дыра дальше, тем меньше видимый размер ее изображения.

Черная дыра в галактике М87 в 1.5 тыс. раз массивнее черной дыры в центре нашей галактики, но при этом и в 2 тыс. раз дальше. Следовательно, ее тень имеет примерно такой же размер.

Для того чтобы понять, насколько угловой размер этих двух теней мал, можно привести следующий пример. Представим себе космонавта, стоящего на поверхности Луны. В одной руке он держит апельсин, а в другой – небольшой грейпфрут. Предположим, что мы смотрим на этого космонавта с Земли (очевидно, с помощью каких-то телескопов). Угловой размер тени черной дыры в галактике М87 сравним с угловым размером апельсина, а размер тени в центре нашей Галактики – с размером грейпфрута.

Для того чтобы добиться рекордных чувствительности и разрешения, был

создан международный проект *Event Horizon Telescope* («Телескоп горизонта событий»). Он представляет собой сеть из восьми наземных телескопов, расположенных по всему миру, и таким образом, эта сеть формирует виртуальный телескоп размером с Землю. В апреле 2019 года была обнародована первая фотография черной дыры, сделанная в галактике М87.

Это изображение стало самым убедительным на сегодняшний день доказательством существования сверхмассивных черных дыр. В 2022 году было опубликовано изображение тени черной дыры в центре нашей Галактики.

Вполне возможно, что за наблюдения тени черных дыр проектом *Event Horizon Telescope* будет вручена Нобелевская премия в ближайшие годы. Отметим, что в материалах Нобелевского комитета, посвященных премии 2020 года, упомянуты как детектор гравитационных волн LIGO (Нобелевская премия 2017 года), так и проект *Event Horizon Telescope*.

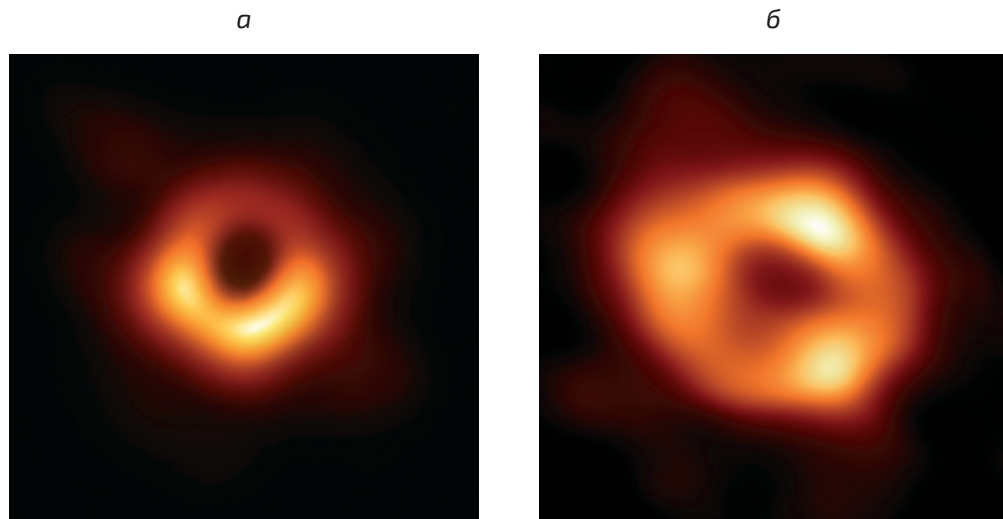
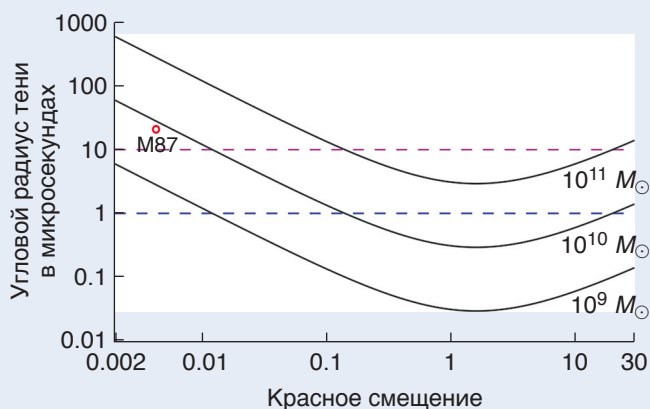


Рис. 7. а – Тень черной дыры в центре галактики М87 – первое полученное учеными изображение черной дыры (получено Event Horizon Telescope Collaboration, <https://www.eso.org/public/images/eso1907a/>); б – изображение черной дыры Sgr A* в центре нашей галактики (получено Event Horizon Telescope Collaboration – <https://www.eso.org/public/images/eso2208-eh-t-mwa/>)

Рис. 8. Ожидаемый угловой размер тени черной дыры с учетом влияния расширения Вселенной в зависимости от красного смещения (мера расстояния на сверхбольших масштабах). Черными сплошными линиями показаны кривые для трех разных масс. Кривые вычислены для современного набора космологических параметров. На больших красных смещениях угловой размер тени начинает увеличиваться и может достигать размеров тени в галактике M87 (показан для сравнения красным кружком). Рисунок автора



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕНИ В КАЧЕСТВЕ СТАНДАРТНОЙ ЛИНЕЙКИ В КОСМОЛОГИИ

В настоящее время ведутся и активные теоретические исследования тени черных дыр. Например, в недавней работе Бисноватого-Когана Г.С. и Цупко О.Ю. было показано, что тени черных дыр, находящихся на очень больших (так называемых космологических) расстояниях, тоже могут быть доступны для наблюдений в будущих экспериментах с более высоким угловым разрешением.

Казалось бы, тень более далеких черных дыр наблюдать еще сложнее. Ведь в обычной жизни мы привыкли к тому, что чем дальше находится объект, тем меньше его угловой размер. Однако если в евклидовом пространстве угловой размер предмета при удалении от него падает, то в искривленном пространстве-времени ситуация может быть более необычной. Расширение Вселенной влияет на распространение лучей света от удаленного объекта к наблюдателю. Это приводит к тому,

что, начиная с некоторых (очень больших) расстояний, угловой размер объекта начинает не падать, а увеличиваться. В частности, угловой размер тени достаточно массивных черных дыр на космологических расстояниях может достигать размеров тени в галактике M87.

На основе этих вычислений было предложено использовать тень черной дыры в качестве так называемой «стандартной линейки» в космологии (standard ruler). Это было сделано в недавней работе О. Цупко и др. (2020).

Стандартной линейкой в космологии называются астрономические объекты с известным размером. Эффективный линейный размер тени черной дыры в основном определяется ее массой (в качестве простой оценки достаточно умножить размер черной дыры на 2.6). Следовательно, если мы можем точно измерить массу черной дыры, то линейный размер ее тени известен. Зная этот эффективный линейный размер и измеряя угловой размер тени, мы можем определить расстояние до черной дыры. Знание расстояния

в совокупности с измеренным красным смещением позволяет изучать космологическую модель, то есть находить космологические параметры. Например, таким образом можно вычислить современное значение параметра Хаббла, который характеризует темп расширения Вселенной. Параметр Хаббла вычисляется с помощью различных методов наблюдений, и при этом присутствует статистически значимая несогласованность между результатами, полученными по данным современной Вселенной и данным ранней Вселенной. Таким образом, новые независимые способы измерения этого параметра имеют принципиальное значение. Для использования теней черных дыр в космологических исследованиях необходимо увеличение углового разрешения телескопов примерно на один порядок. Кроме того, необходимо точное независимое определение масс черных дыр. Эти трудные, но очень важные задачи – дело будущего. И вполне возможно, что эти «найденные черные кошки в глубинах темного космоса» смогут

ответить на важнейшие вопросы эволюции нашей Вселенной.

Благодарности

Работа над этой статьей частично поддержана грантом РФФИ 20-52-12053. Автор благодарен проф. Г.С. Бисновату-Когану за полезные обсуждения. Автор также выражает благодарность научному редактору О.С. Сажинной за помощь в работе над текстом статьи.

Литература

1. Perlick V., Tsupko O.Yu. Calculating black hole shadows: Review of analytical studies, *Physics Reports*, 947, 1 (2022). DOI: 10.1016/j.physrep.2021.10.004
2. Perlick V., Tsupko O. Yu., Bisnovaty-Kogan G.S. Influence of a plasma on the shadow of a spherically symmetric black hole, *Physical Review D*, 92, 104031 (2015). DOI: 10.1103/PhysRevD.92.104031
3. Bisnovaty-Kogan G.S., Tsupko O. Yu. Shadow of a black hole at cosmological distances, *Physical Review D* 98, 084020 (2018). DOI: 10.1103/PhysRevD.98.084020
4. Tsupko O. Yu., Fan Z., Bisnovaty-Kogan G.S. Black hole shadow as a standard ruler in cosmology, *Classical and Quantum Gravity* 37, 065016 (2020). DOI: 10.1088/1361-6382/ab6f7d
5. Сайт проекта *Event Horizon Telescope*: <https://eventhorizontelescope.org/>

издательство
НАУКА
 — 1727 —

А вы отправили
 обязательный
 экземпляр?

**Издательство «Наука» предлагает организациям
и независимым издателям услугу по отправке
Обязательного Электронного Экземпляра
в Российскую государственную библиотеку
и Российскую книжную палату**

При размещении научных, научно-популярных книг и журналов в Электронной библиотечной системе
Издательства «Наука» (libnauka.ru) данную услугу мы предоставляем бесплатно

Задать вопрос и узнать о стоимости услуги вы можете по адресу oe@naukapublishers.ru

Реклама

Обсерватории, институты

ОБСЕРВАТОРИЯ ИНТЕГРАЛ: 20 ЛЕТ НАБЛЮДЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

ГРЕБЕНЕВ Сергей Андреевич,

доктор физико-математических наук, ученый миссии ИНТЕГРАЛ

СЮНЯЕВ Рашид Алиевич,

академик РАН, научный руководитель миссии ИНТЕГРАЛ со стороны России

Институт космических исследований РАН

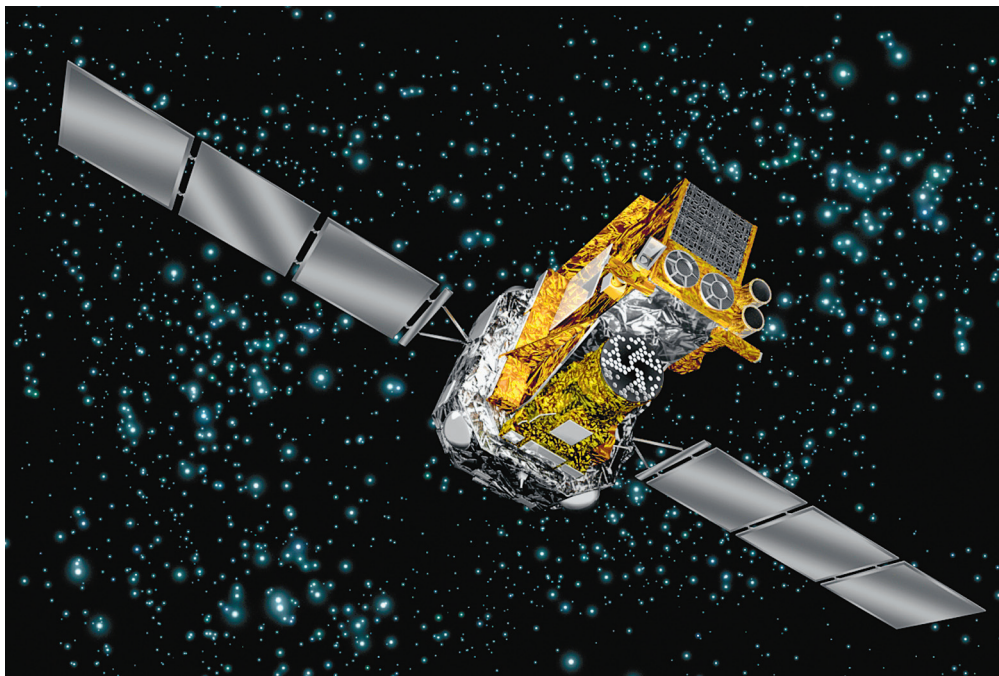
DOI: 10.7868/50044394822060044

**Исполнилось двадцать лет успешной работы в космосе
Международной астрофизической лаборатории гамма-лучей ИНТЕГРАЛ
(INTEGRAL — аббревиатура от полного английского названия обсерватории
«INTERNational Gamma-Ray Astrophysics Laboratory»).**

Созданная на средства Европейского космического агентства (ЕКА), эта обсерватория была выведена на высоко-

апогейную орбиту 17 октября 2002 г. ракетой-носителем «Протон» с космодрома Байконур. Запуск «Протоном»

Обсерватория ИНТЕГРАЛ глазами художника. ESA/D. Ducros



позволил значительно (до ~30%) увеличить время наблюдений по сравнению с другими обсуждавшимися возможностями, а также поднять перигей орбиты до 9000 км, то есть выше радиационных поясов Земли, что гарантировало сохранность радиационно-чувствительных приборов. За запуск российские ученые получили эксклюзивное право на анализ и публикацию результатов 25% научных данных всех телескопов обсерватории в течение года после наблюдений, после чего российские данные, так же как и европейские, становились общедоступными.

Обсерватория задумывалась как первая космическая лаборатория для исследований в области ядерной астрофизики. Ее основными объектами изучения должны были стать радиоактивные гамма-линии от остатков сверхновых и новых, от распада радиоактивного алюминия (^{26}Al) в диске Галактики и аннигиляции позитронов в окрестности ее центра, а также линии, формирующиеся в процессах расщепления тяжелых ядер при взаимодействии космических лучей с межзвездной средой.

На космическом аппарате были установлены уникальные специализированные гамма-телескопы: SPI с охлаждаемыми до 85 К германиевыми детекторами – для сверхтонкой (с разрешением 2.2 кэВ вблизи 1 МэВ) гамма-спектроскопии и IBIS с огромным позиционно-чувствительным детектором ISGRI (массивом 16 384 полупроводниковых элементов из CdTe) – для картографирования неба в жестких рентгеновских лучах по принципу кодирующей апертуры. Были установлены также два рентгеновских телескопа JEM-X (тоже с кодирующей апертурой) и широкоугольный оптический

телескоп OMC¹. Телескопы разрабатывались и создавались научными организациями Франции, Германии, Италии, Дании и Испании.

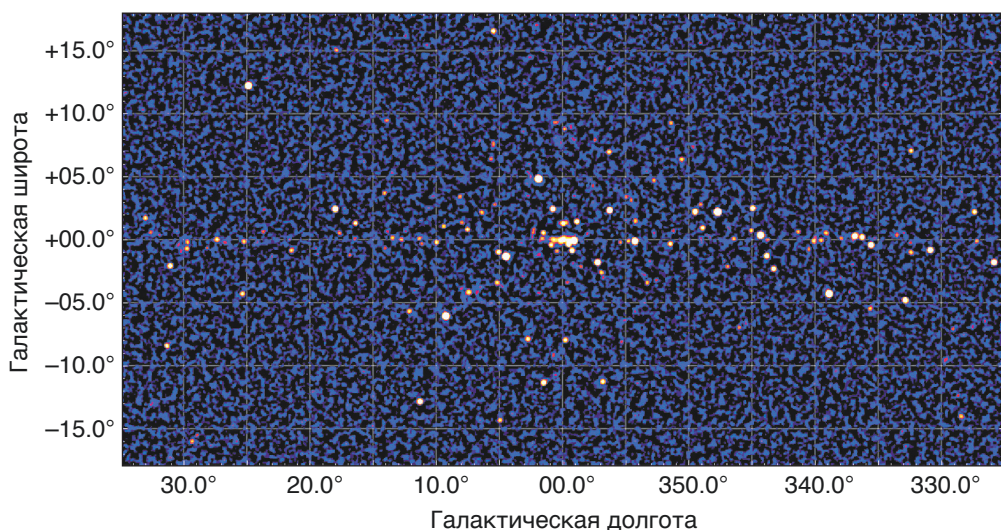
По чувствительности и возможностям гамма-телескопы обсерватории на порядок и более превосходили приборы, работавшие ранее в космосе. Не удивительно, что сразу после запуска потоком пошли сообщения об открытии новых источников и ранее неизвестных явлений, о многих замечательных, часто неожиданных, результатах.

ОБЗОРЫ И КАРТЫ НЕБА, НОВЫЕ ИСТОЧНИКИ

За короткий срок (полгода – год) обсерватория ИНТЕГРАЛ более чем удвоила число известных в нашей Галактике тесных двойных рентгеновских систем. В подобных системах вещество перетекает с обычной звезды на вырожденную, сжатую в десятки и сотни тысяч раз – черную дыру, нейтронную звезду или белый карлик, – захватывается ее сверхсильным гравитационным полем и, падая в нем, излучает высвобождающуюся энергию в рентгеновских лучах. Такое падение называется аккрецией.

Столь массовое открытие рентгеновских источников (более 300) обсерваторией ИНТЕГРАЛ можно сравнить лишь с революцией в рентгеновской астрономии, осуществленной спутником UHURU (NASA) в начале 1970-х гг. Почти все источники были открыты телескопом IBIS, чему способствовал его жесткий диапазон (ранее на энергиях выше 20 кэВ работал лишь телескоп

¹ Подробнее см. Гребенев С.А., Сюняев Р.А. Международная астрофизическая лаборатория гамма-лучей ИНТЕГРАЛ / Земля и Вселенная, 2003, № 2. С. 3.

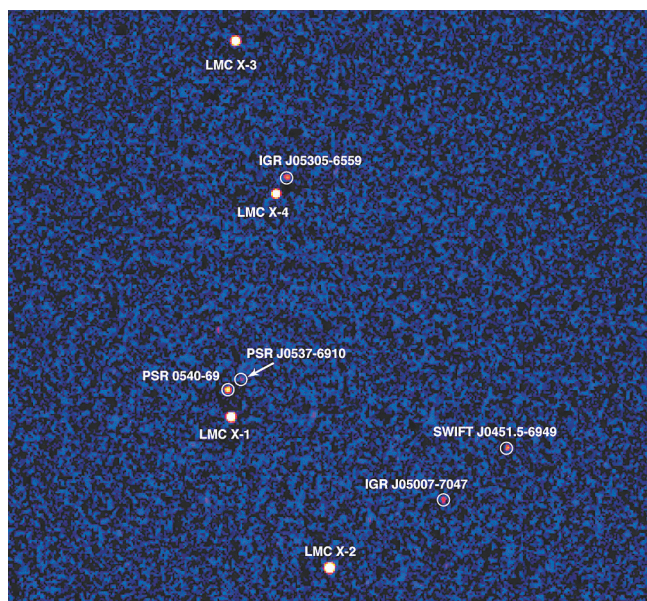


Изображение в жестких рентгеновских лучах обширной области вблизи галактического центра, полученное телескопом IBIS/ISGRI за годы наблюдений. Видны сотни зарегистрированных источников. Изображение из статьи Кривонос и др., 2012

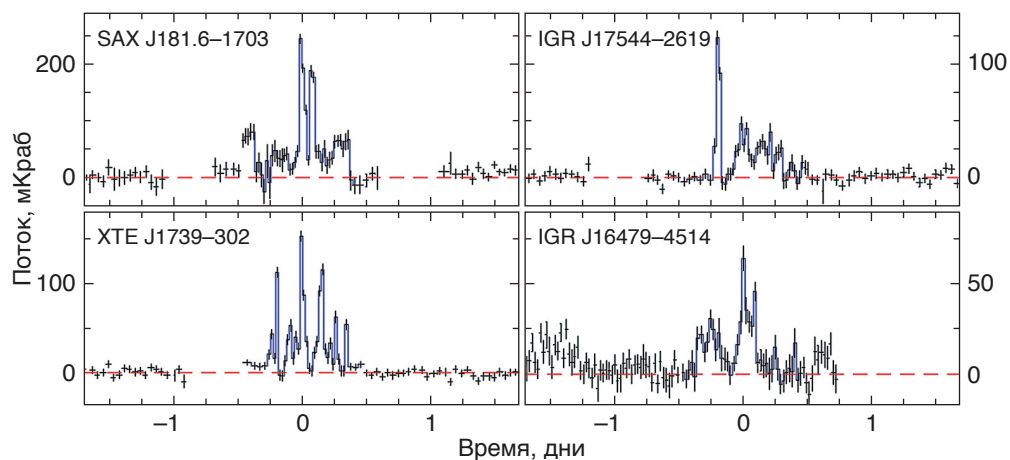
SIGMA обсерватории «Гранат», заметно уступающий IBIS в чувствительности), большое поле зрения ($30^\circ \times 30^\circ$) и преимущественные наблюдения Галактики, особенно области, окружающей ее центр. В жестком диапазоне обсерватория провела первый глубокий обзор галактической плоскости. Но и обзор многих участков неба, выполненный в стандартном рентгеновском диапазоне телескопами JEM-X, по площади покрытия, достигнутой чувствительности и угловому разрешению во многом был уникален.

Важно, что были открыты две ранее неизвестные популяции массивных рентгеновских двойных: *сильнопоглощенные источники*, в которых излучение релятивистского

объекта в стандартном рентгеновском диапазоне полностью поглощается в плотном звездном ветре массив-



Рентгеновская карта ближайшей к нам галактики Большое Магелланово Облако (LMC), полученная телескопами JEM-X в стандартном диапазоне 3–20 кэВ. Изображение из статьи Grebenev et al., 2013



Кривые блеска быстрых рентгеновских транзиентов (SFXT) по данным телескопа IBIS/ISGRI. Аккреция в этих источниках происходит в редкие моменты преодоления центробежного барьера магнитосферой нейтронной звезды при незначительном изменении параметров ветра звезды-спутницы. Рисунок из статьи Grebenev, 2009

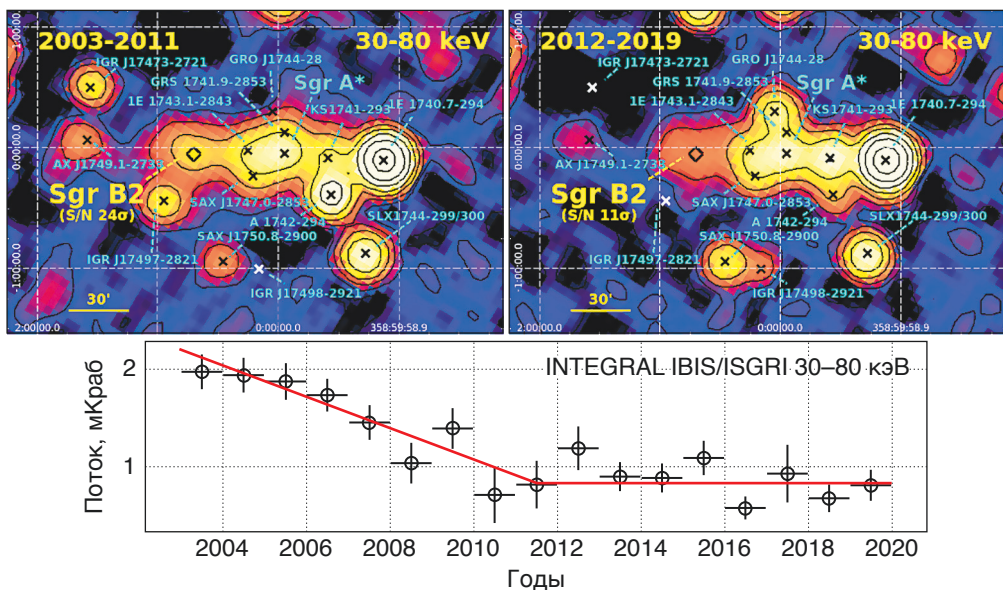
ной звезды-спутника, и *быстрые рентгеновские транзиенты SFXT*, обычно не излучающие, но иногда вспыхивающие на короткое время (несколько часов или даже десятки минут), при этом их яркость возрастает на 4–5 порядков величины. Такой феномен был объяснен существованием центробежного барьера на границе магнитосферы быстро вращающейся нейтронной звезды, останавливающего аккрецию из звездного ветра звезды-спутницы, – так называемый «эффект пропеллера». Вспышки наблюдаются во время кратковременного преодоления барьера магнитосферой, происходящего из-за незначительного изменения внешних условий, например, локального изменения плотности или скорости ветра. При этом ненадолго запускается процесс прямой аккреции.

Обнаруженные популяции источников заметно (в 4–5 раз) увеличили число известных рентгеновских двойных в системах со сверхгигантами ранних спектральных классов и позволили объяснить давнюю загадку удивительно малого числа таких рент-

геновских объектов, наблюдаемых в постоянном излучении.

Обсерватория до сих пор продолжает регулярно открывать ранее неизвестные вспыхивающие источники – рентгеновские новые и другие транзиенты. С ее помощью был выполнен первый полный обзор всего неба в жестких (> 20 кэВ) рентгеновских лучах, исследованы свойства активных ядер галактик в ближней Вселенной и впервые измерена доля активных ядер с большой оптической толщей по комптоновскому рассеянию. Такие объекты неудачно к нам ориентированы, так что область их основного энерговыделения оказывается скрытой плотными облаками газопылевого тора на границе аккреционного диска.

ИНТЕГРАЛ подтвердил существование отраженного при комптоновском рассеянии на электронах в гигантских молекулярных облаках Галактики (в частности, в облаке Sgr B2) рентгеновского излучения сверхмассивной черной дыры, скрытой в ее ядре, – это так называемый источник Sgr A*. Отраженное излучение – это эхо былой рентгеновской активности цент-



Рентгеновские карты окрестностей ядра Галактики (Sgr A*) по данным телескопа IBIS/ISGRI, полученные в 2003–2011 и 2012–2019 гг. Они демонстрируют падение яркости излучения молекулярного облака Sgr B2, светящего отраженным светом мощной вспышки излучения черной дыры в центре Галактики, произошедшей сотни лет назад. Внизу – подробная кривая рентгеновского блеска Sgr B2. Изображение из статьи Kuznetsova et al., 2022

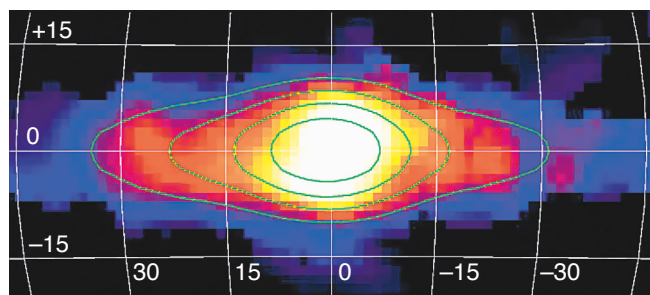
ральной черной дыры, имевшей место сотни лет назад. В нашу эпоху поток излучения Sgr A* в рентгеновских лучах держится на удивительно низком уровне – в 6×10^8 раз ниже предельно допустимого, который еще может быть обеспечен аккрецией. Возможно, вблизи черной дыры сейчас нет достаточно количества вещества для обеспечения высокого темпа аккреции, либо аккреция происходит в безизлучательном (адвекционном) режиме.

Впервые рентгеновское излучение облака Sgr B2 было зарегистрировано телескопом ART-P обсерватории «Гранат» в 1990 г.² Отраженное излучение приходит к нам с большой задержкой, так как до рассеяния преодолева-

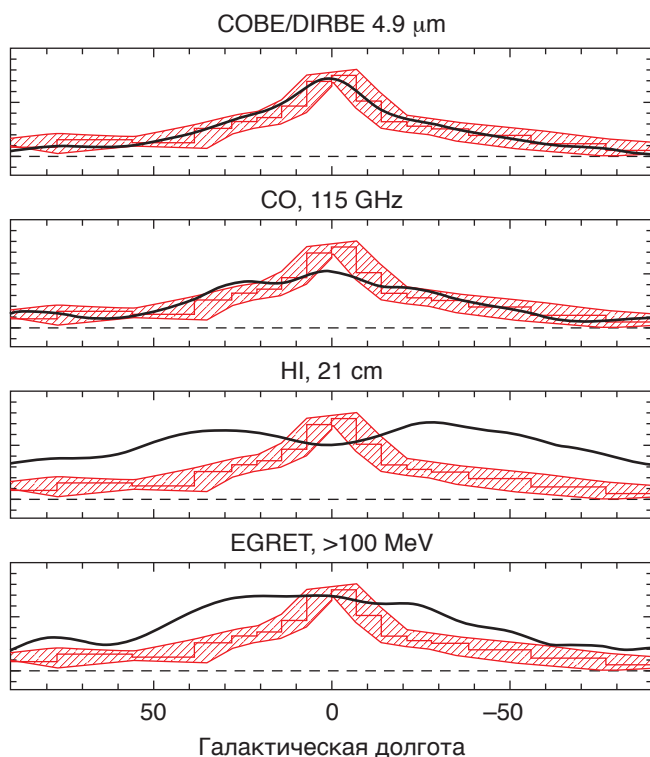
ет дополнительный путь в сотни световых лет к облаку, расположенному сбоку от направления на центр Галактики. ИНТЕГРАЛ вначале наблюдал рентгеновское излучение облака на том же уровне потока, что был измерен обсерваторией «Гранат». Но спустя примерно 5 лет обсерватория зарегистрировала долгожданное падение потока, связанное с выходом светового фронта рентгеновской вспышки из облака Sgr B2. Таким образом была подтверждена природа его излучения.

Обсерватория ИНТЕГРАЛ также разрешила еще одну давнюю загадку, относящуюся к происхождению диффузного рентгеновского излучения, регистрируемого вдоль плоскости («хребта») нашей Галактики. Высказывались предположения, что это может быть излучение горячего межзвездного газа, космических лучей или слабых источников, которые

² Подробнее см. Гребенев С.А., Маркевич М.Л., Павлинский М.Н., Сюняев Р.А. Рентгеновский телескоп АРТ-П на борту обсерватории ГРАНАТ / Земля и Вселенная, 1993, 6, 3.



Распределение диффузного рентгеновского излучения галактического «хребта» (по данным телескопа IBIS/ISGRI, 18–60 кэВ) и инфракрасного излучения на 4.9 мкм (контуры, данные COBE/DIRBE)
Изображение из статьи Krivonos et al., 2007



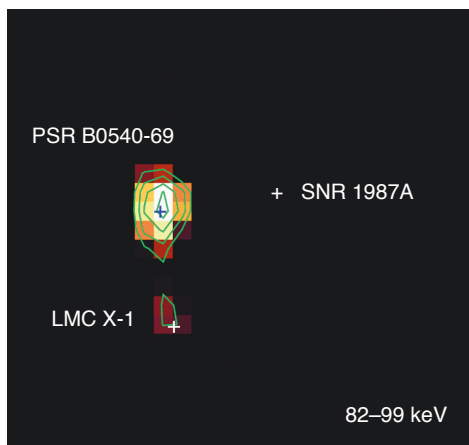
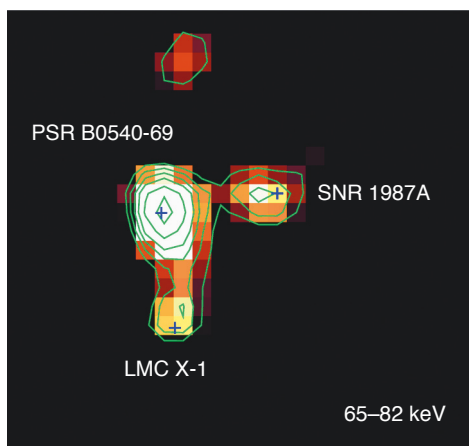
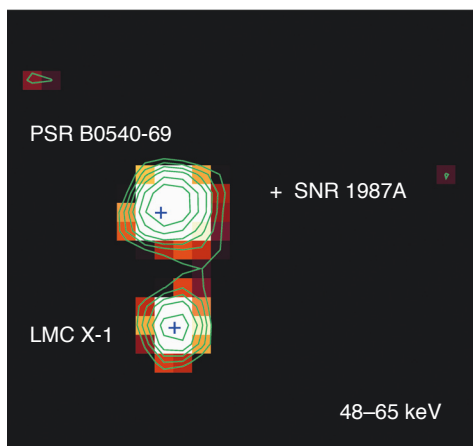
Сравнение распределения яркости диффузного рентгеновского излучения в зависимости от галактической долготы (красная полоса) с распределениями гамма-излучения, инфракрасного излучения звезд и излучения в линиях молекулярного (CO) и атомарного (HI) межзвездного газа.
Изображение из статьи Krivonos et al., 2007

не видны как отдельные источники из-за низкого пространственного разрешения. Наблюдения обсерватории показали, что правильно последнее утверждение – диффузное излучение связано со свечением множества слабых магнитоактивных звезд и аккрецирующих белых карликов. По данным обсерватории, морфология пространственного распределения этого излучения точно повторяет распределение инфракрасной светимости обычных звезд, резко отличаясь от распределений межзвездного

газа и галактических космических лучей сверхвысоких энергий. Этот результат можно сравнить с открытием Галилео Галилея, который в 1610 г., используя первый изготовленный им телескоп, показал, что рассеянное свечение Млечного Пути в видимом свете связано с излучением множества далеких звезд.

РАДИОАКТИВНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ СВЕРХНОВЫХ

Среди результатов, полученных обсерваторией ИНТЕГРАЛ по ее основной задаче – исследованиям в области ядерной астрофизики, следует упомянуть первую регистрацию излучения остатка сверхновой SN 1987A

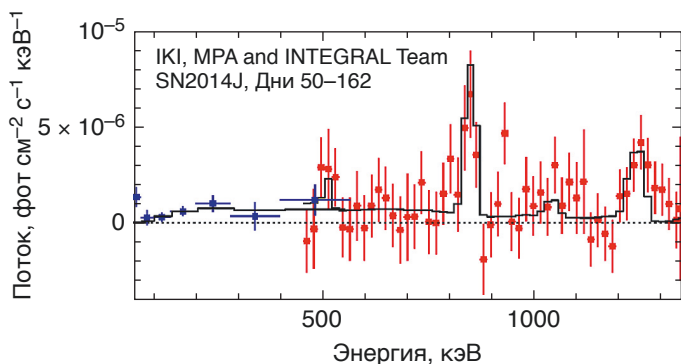


Изображения области в галактике LMC в трех последовательных диапазонах энергий по данным телескопа IBIS/ISGRI. Остаток SNR1987A виден лишь в диапазоне 65–82 кэВ, в который попадают две рентгеновские линии излучения, испускаемые при распаде ^{44}Ti , происходящем в недрах этого остатка. Изображение из статьи Grebenev et al., 2012

в рентгеновских линиях 68 и 78 кэВ распада синтезированного при взрыве радиоактивного титана (^{44}Ti). Это остаток самой близкой к нам сверхновой из наблюдавшихся за последние примерно 350 лет. Взорвалась она в галактике Большое Магелланово Облако (LMC) в 1987 г. из-за коллапса железного ядра предсверхновой. Наблюдения обсерваторией ИНТЕГРАЛ позволили оценить количество титана в разлетающейся оболочке (до 100 масс Земли), поставить ограничения на модели процесса взрывного нуклеосинтеза в сверхновых. Эти результаты показывают, как во Вселенной образуются тяжелые элементы, привычные нам на Земле.

Другой замечательный результат – первая регистрация от сверхновой типа Ia (SN 2014J в галактике M82) радиоактивного излучения распада кобальта (^{56}Co) и, возможно, его родительского изотопа никеля (^{56}Ni), синтезированного при взрыве.

Изотоп ^{56}Co распадается в обычное железо (^{56}Fe) с периодом полураспада 77.3 суток, испуская при этом позитроны и гамма-фотоны с разными энергиями, чаще всего 847 и 1238 кэВ. Обсерватория ИНТЕГРАЛ наблюдала излучение в гамма-линиях прямого вылета, а также в жестком рентгеновском континууме, образующемся при комптоновском рассеянии гамма-фотонов на электронах разлетающейся



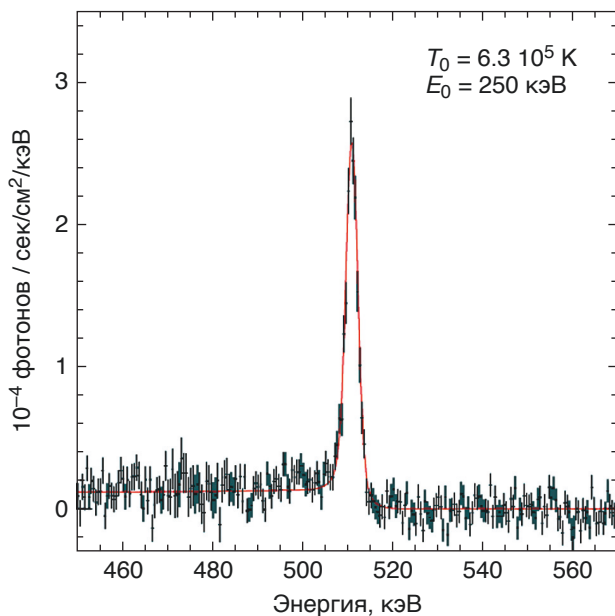
Спектр излучения сверхновой SN 2014J, измеренный гамма-спектрометром SPI. Видны линии излучения на энергиях 511, 847 и 1238 кэВ, образующиеся при радиоактивном распаде ^{56}Co , синтезированного при взрыве сверхновой. Изображение из статьи Churazov et al., 2014

оболочки. Полученный спектр и его эволюция согласуются с теоретическим расчетом выхода гамма-излучения из оболочки, образующейся при термоядерном взрыве белого карлика с массой, близкой к пределу Чандрасекара. Анализ подтвердил присутствие внутри оболочки сверхновой ~ 0.6 массы Солнца радиоактивного кобальта (что составляет около 50% массы всей оболочки). Таким образом было впервые доказано, что причиной взрыва сверхновых этого типа

служит термоядерный взрыв белого карлика.

Обсерватория также предоставила убедительные свидетельства широкого распределения радиоактивного алюминия (^{26}Al) по галактическому диску, поставившие сильные ограничения на темп вспышек в Галактике сверхновых с коллапсировавшим ядром (в таких сверхновых может синтезироваться ^{26}Al) и на вынос радиоактивных элементов из недр массивных звезд (другой возможный канал появления этого изотопа).

Спектр излучения, связанного с аннигиляцией позитронов в области центра Галактики, согласно измерениям гамма-спектрометром SPI. Видна узкая линия двухфотонной аннигиляции с энергией 511 кэВ и протяженный континуум трехфотонного распада позитрония (ступенька на более низких энергиях). Аппроксимация (красная линия) предполагает, что позитроны с энергией E_0 попадают в межзвездную среду с температурой T_0 , где релаксируют, образуют позитроний и со временем аннигилируют. Изображение из статей Churazov et al., 2005, 2011



АННИГИЛЯЦИОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ПОЗИТРОНОВ

Впервые с помощью обсерватории ИНТЕГРАЛ были получены детальные карты распределения аннигиляционного излучения электронов-позитронов, показывающие сильную концентрацию антивещества к центральным областям Галактики³. Обсерватория с высокой точностью измерила спектр аннигиляционного излучения с узкой линией двухфотонной аннигиляции и широким трехфотонным континуумом распада позитрония, что позволило поставить ограничения на физи-

³ Подробнее Гребенев С.А., Сюняев Р.А. Международная астрофизическая лаборатория гамма-лучей ИНТЕГРАЛ / Земля и Вселенная, 2003, № 2. С. 3.

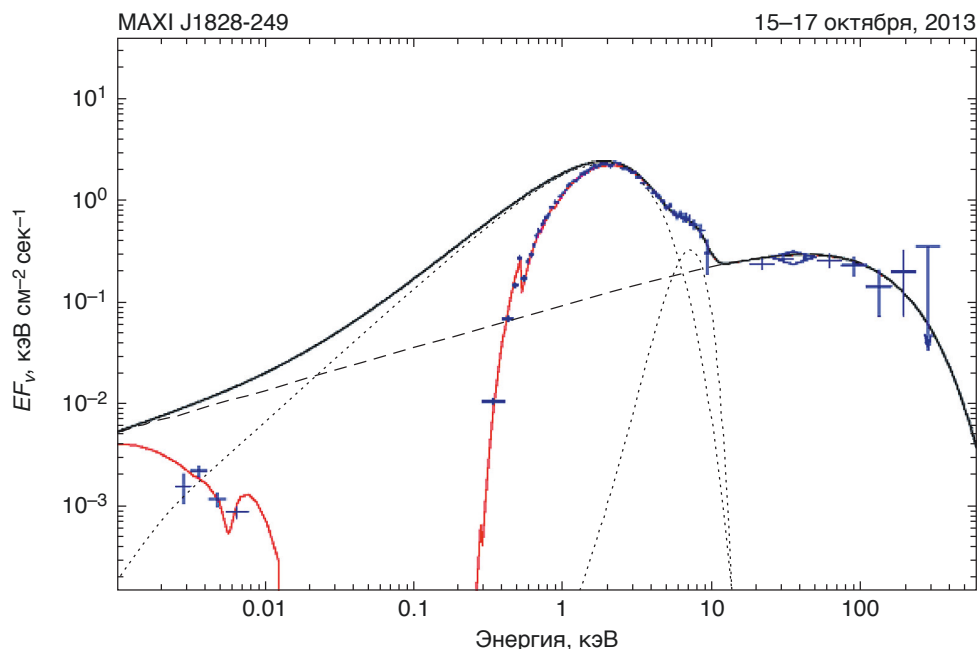
ческие условия в области образования и распада позитрония – атома, состоящего из позитрона и электрона.

АККРЕЦИЯ НА ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ

Обсерватория ИНТЕГРАЛ хорошо приспособлена для проведения широкополосной спектроскопии (от оптического до гамма-излучения), что позволило детально исследовать особенности излучения самых разных рентгеновских объектов. Так, впервые была зарегистрирована поляризация гамма-излучения от пульсарной туманности в Крабе, аккреционного диска вблизи черной дыры Суг X-1, джетов в гамма-всплесках.

Среди двойных систем особый интерес представляли характеризующиеся очень жесткими спектрами излу-

Широкополосный (0.002–400 кэВ) спектр излучения рентгеновской новой MAXI J1828-249. Черной сплошной линией показана его аппроксимация принятой моделью, красной линией – та же модель после учета межзвездного поглощения. Видно, что в оптическом диапазоне (точки слева) вклад чернотельного аккреционного диска (пунктир) заметно уступает степенной компоненте модели, связанной с комптонизацией в горячей внутренней зоне (штриховая линия). Изображение из статьи Гребенев и др., 2016



чения аккрецирующие черные дыры в квазистационарных источниках (типа источника Cyg X-1 в созвездии Лебедя) и в рентгеновских новых, иногда вспыхивающих на несколько месяцев.

В ходе анализа спектров большого числа таких систем было показано, что основной поток их оптического излучения формируется не на периферии аккреционного диска (как всегда считалось), а в высокотемпературной центральной зоне основного энерговыделения – там, где образуется жесткое излучение.

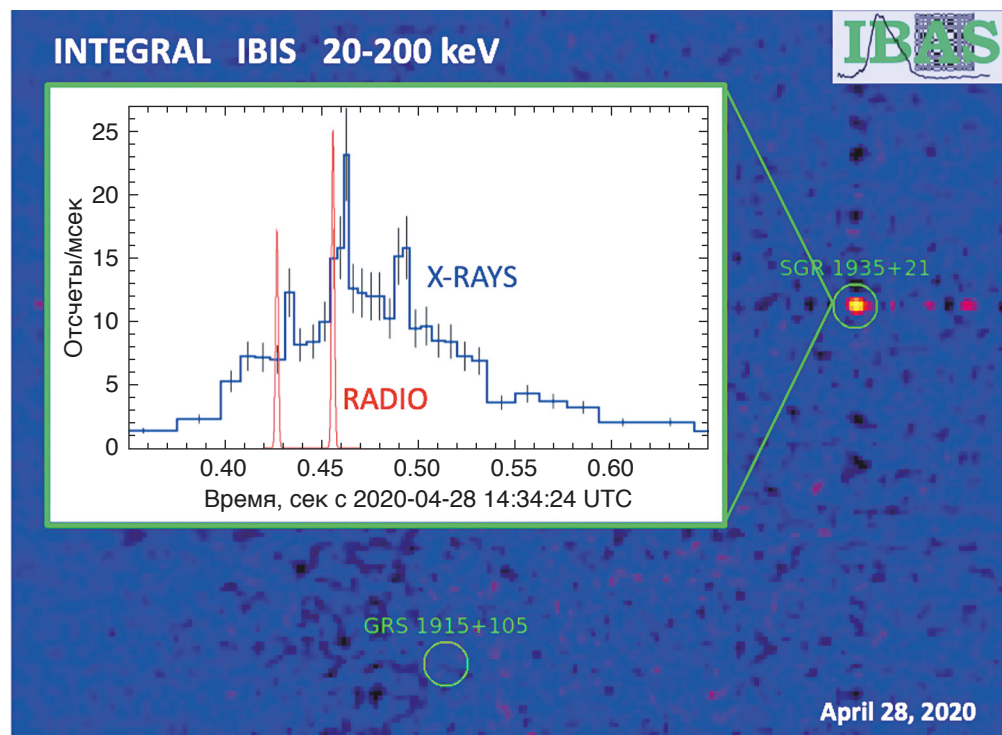
КОСМИЧЕСКИЕ ВСПЛЕСКИ

Обсерватория ИНТЕГРАЛ детально исследовала гигантские вспышки нескольких источников повторных

гамма-всплесков (soft gamma-repeaters или SGRs) и сделала вывод о существовании отдельной, очень жесткой компоненты излучения в интегральных спектрах их слабых, более частых вспышек. Эти источники относятся к магнитарам – представляют собой молодые нейтронные звезды с экстремально сильным (близком к критическому) магнитным полем, они излучают за счет его энергии. В апреле 2020 г. обсерватории даже посчастливилось зарегистрировать гамма-вспышку магнитара SGR 1935+2154, впервые совпавшую по времени с короткой радиовспышкой, что, возможно, объясняет происхождение загадочных быстрых космических радиовсплесков (Fast Radio Bursts или FRBs).

ИНТЕГРАЛ впервые детально исследовал популяцию относительно сла-

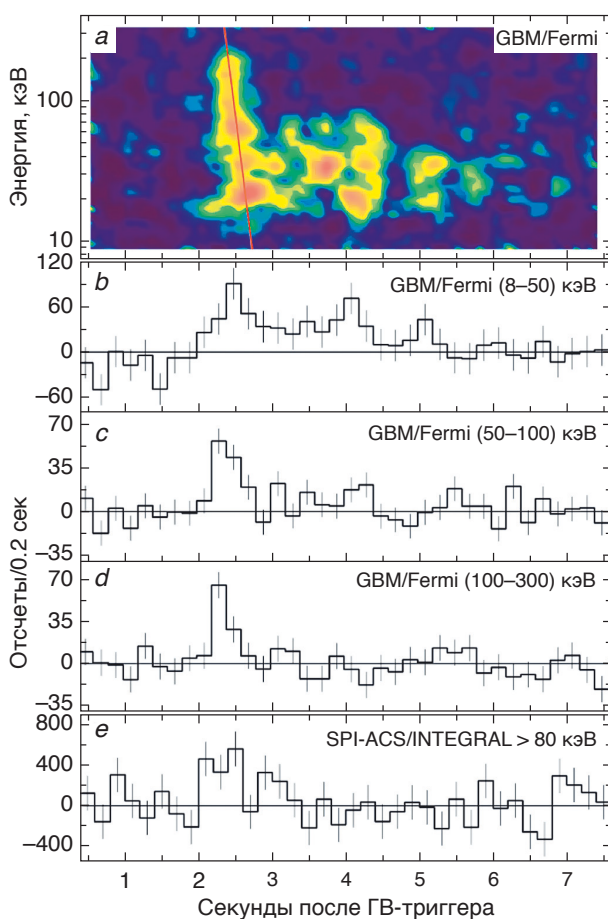
Временной профиль вспышки магнитара SGR 1935+21 в жестком рентгеновском (20–200 кэВ, телескоп IBIS/ISGRI) и радио- (телескопы CHIME и STARE2) диапазонах. Изображение из статьи Mereghetti et al., 2020



бых, а потому плохо изученных космологических гамма-всплесков (gamma-ray bursts или GRBs), попавших в поле зрения гамма-телескопов IBIS и SPI. Такие всплески с трудом регистрируются обычными относительно небольшими GRB-детекторами. В частности, Интеграл доказал существование гамма-всплесков с очень низкой светимостью, во всем остальном проявляющих себя как типичные GRBs.

Это открытие позволило опровергнуть популярный взгляд на всплески как на «стандартные свечи», то есть события одинаковой светимости. Массивная активная защита ACS гамма-спектрометра SPI, срабатывания в которой, одновременно с регистрациями в самом спектрометре, позволяют распознавать и удалять события, вызванные заряженными частицами (принцип антисовпадений), оказалась самым большим GRB-детектором, когда-либо работавшим в космосе. Уже многие годы она служит главным поставщиком уникальных кри-вых блеска гамма-всплесков для их исследования и триангуляции.

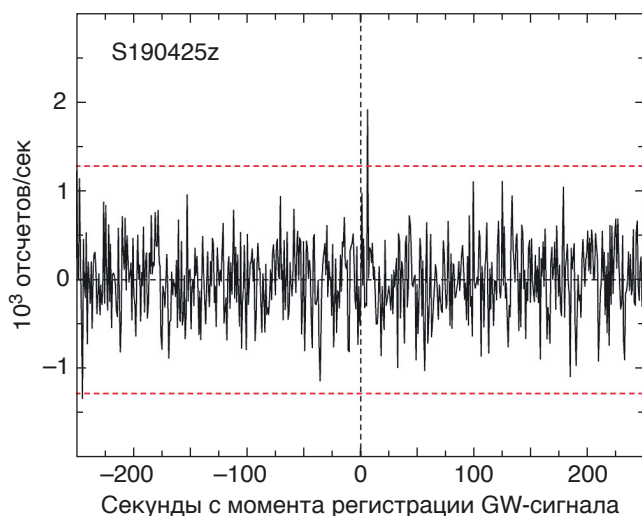
Именно с помощью ACS обсерватория смогла зарегистрировать уникальные электромагнитные проявления – гамма-всплески GRB 170817A и GRB 190425A, сопровождавшие события слияния пар нейтронных звезд GW 170817 и GW 190425. Последние были обнаружены гравитационно-волновыми антеннами LIGO/Virgo.



Временные профили гамма-всплеска GRB170817A, сопровождавшего первое гравитационно-волновое событие слияния нейтронных звезд LIGO/Virgo (в разных диапазонах энергий по данным Fermi/GBM и INTEGRAL/SPI-ACS). Изображение из статьи Pozanenko et al., 2018

Гамма-всплеск от первого события одновременно и независимо наблюдался монитором гамма-всплесков GBM обсерватории Fermi (NASA), во время второго события обсерватория Fermi находилась в тени Земли и не смогла подтвердить регистрацию всплеска ИНТЕГРАЛОм.

Обсерватория внесла большой вклад в исследование рентгеновских всплесков, связанных с термоядерными взрывами вещества, накопившегося на поверхности нейтронных звезд



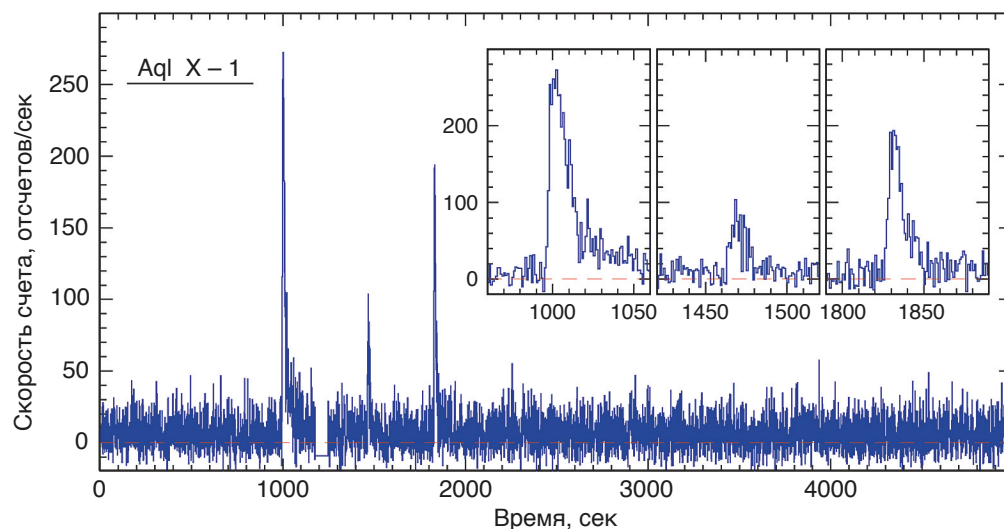
Регистрация гамма-всплеска GRB190425A, сопровождавшего второе гравитационно-волновое событие LIGO/Virgo слияния пары нейтронных звезд (в диапазоне > 80 кэВ по данным SPI-ACS). Изображение из статьи Позаненко А.С. и др., 2019

ны так называемые кратные всплески. Временной интервал между ними недостаточен для накопления критической массы вещества, необходимой для взрыва. Такие всплески были объяснены особенностями растекания вещества по поверхности нейтронной звезды при аккреции.

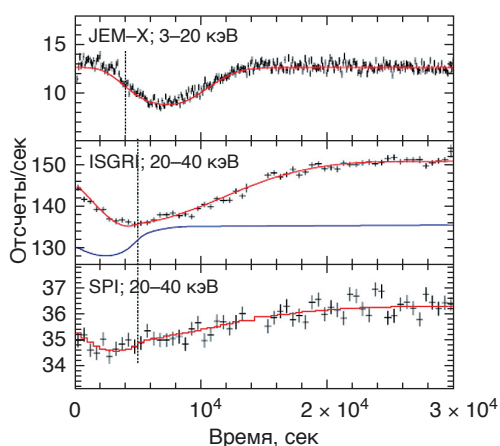
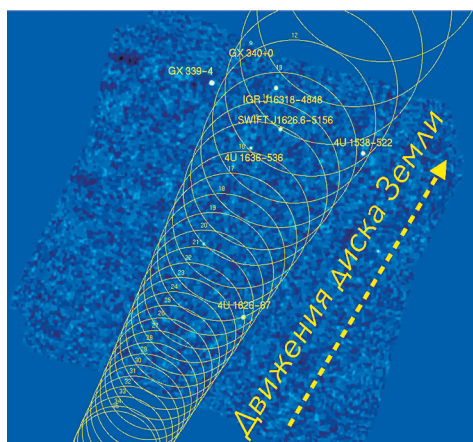
Нельзя не отметить и инициированные российскими учеными в январе – феврале 2006 г. высокоточные измерения телескопами обсерватории ИНТЕГРАЛ спектра космического рентгеновского фона с использованием диска Земли в качестве экрана. Точные измерения космического фона являются очень сложной за-

из-за аккреции. В том числе, с ее помощью был обнаружен ряд новых барстеров, зарегистрированы и исследова-

дачей, поскольку его трудно отделить от более сильного фона заряженных частиц, регистрируемого приборами.



Кратные (тройные) рентгеновские всплески, зарегистрированные телескопами JEM-X от миллисекундного пульсара-барстера Aql X-1 в созвездии Орла. Изображение из статьи Гребенев, Человеков, 2017



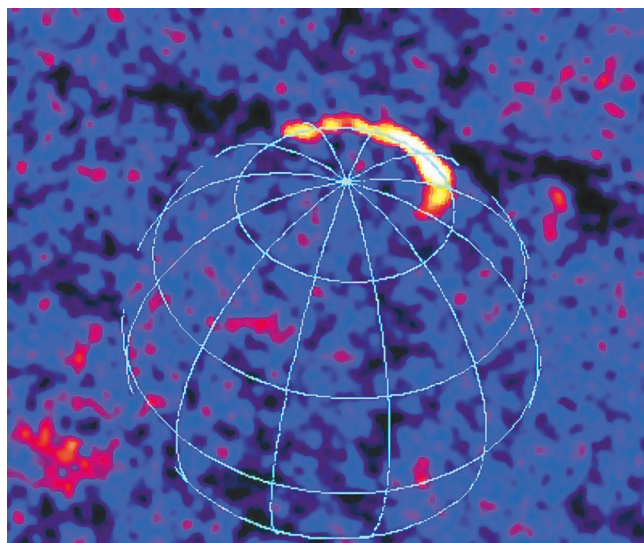
Прохождение диска Земли (экранирующего космический фон) через поле зрения телескопа IBIS/ISGR (слева) и связанное с таким экранированием падение потока излучения, регистрируемого этим телескопом, а также телескопами JEM-X и SPI (справа). Синяя линия учитывает падение из-за затмения потока рентгеновского излучения галактического «хребта». Изменение видимого размера Земли связано с изменением удаленности обсерватории ИНТЕГРАЛ при ее движении по орбите. Изображение из статьи Churazov et al., 2007

Затеняя часть поля зрения телескопов диском Земли, мы уменьшаем измеряемый ими космический фон, оставляя фон заряженных частиц неизменным.

До выполнения этих наблюдений никто возможность наведения обсерватории ИНТЕГРАЛ на Землю не обсуждал и даже не рассматривал. В последующем же были проведены повторные наблюдения, во время которых в ноябре 2015 г. было зарегистрировано сильное авроральное излучение вблизи северного полюса Земли – полярное сияние в жестких рентгеновских лучах. Так же как и обычное полярное сияние, оно связано со свечением быстрых заряженных частиц при их движении вдоль силовых линий магнитосферы Земли.

К настоящему времени по результатам обсерватории опубликовано более 4000 статей и циркуляров, в том числе около 2000 в ведущих реферируемых

Жесткое рентгеновское авроральное излучение, зарегистрированное обсерваторией ИНТЕГРАЛ в ноябре 2015 г. у северного полюса Земли. ESA



Важнейшие результаты российских ученых опубликованы в работах:

Churazov et al. Positron annihilation spectrum from the Galactic Centre region observed by SPI/INTEGRAL, MNRAS, 2005, v. 357, pp. 1377–1386.

Churazov et al. Cobalt-56 gamma-ray emission lines from the type Ia supernova 2014J, Nature, 2014, v. 512, pp. 406–408.

Grebenev et al. Hard X-ray emission lines from the decay of ^{44}Ti in the remnant of supernova 1987A, Nature, 2012, v. 490, pp. 373–375.

Grebenev et al. Deep hard X-ray survey of the Large Magellanic Cloud, MNRAS, 2013, v. 428, pp. 50–57.

Krivosos et al. Hard X-ray emission from the Galactic ridge, Astronomy&Astrophysics, 2007, v. 463, pp. 957–967.

Krivosos et al. INTEGRAL/IBIS nine-year Galactic hard X-ray survey, Astronomy&Astrophysics, 2012, v. 545, id. A27.

Kuznetsova et al. Sgr B2 hard X-ray emission with INTEGRAL after 2009: still detectable MNRAS, 2022, v. 509, pp. 1605–1613.

Pozanenko et al. GRB170817A Associated with GW170817: Multi-frequency Observations and Modeling of Prompt Gamma-Ray Emission, Astrophysical Journal, 2018, v. 852, id. L30.

Позаненко А.С. и др. Наблюдение в гамма-диапазоне второго связанного со слиянием нейтронных звезд события LIGO/VIRGO S190425z, Письма в Астрономический журнал, 2019, т. 45, с. 768–786.

Ревнищев М.Г. и др. Обзор области галактического центра в жестких рентгеновских лучах телескопом IBIS обсерватории ИНТЕГРАЛ. Каталог источников, Письма в Астрономический журнал, 2004, т. 30, с. 430–435.

Sazonov et al. An apparently normal gamma-ray burst with an unusually low luminosity, Nature, 2004, v. 430, p. 646.

журналах по астрономии и астрофизике. Авторами заметного числа ключевых публикаций и открытий являются российские ученые⁴. Результаты обсерватории отмечены премией Президента Российской Федерации в области науки и инноваций для молодых ученых, премией РАН по астрономии им. Ф.А. Бредихина, медалью им. Я.Б. Зельдовича Международного комитета по исследованию космического пространства, рядом других премий и медалей. Только в России

результаты наблюдений обсерватории легли в основу успешно защищенных 14 кандидатских и 5 докторских диссертаций.

БУДУЩЕЕ ОБСЕРВАТОРИИ

Несмотря на некоторые технические проблемы, с которыми спутник ИНТЕГРАЛ столкнулся за последние годы (о них можно прочитать ниже), он остается полностью управляемым, а его научные приборы – работоспособными и в очень хорошем состоянии.

В 2015 г. орбита спутника была скорректирована, чтобы обеспечить естественный (т. е. в процессе эволюции орбиты) сход и затопление в безлюдных южных районах Мирового океана в 2029 г. Объем топлива (гидразина) на борту, необходимый для разгруз-

⁴ Обновляемый список статей в научных журналах и трудах конференций можно найти по ссылке: <http://hea.iki.rssi.ru/grebenev/integral-papers.html>; список срочных сообщений в циркулярах и телеграммах об открытиях и наблюдениях интересных транзитных явлений – по ссылке: <http://hea.iki.rssi.ru/grebenev/integral-atels.html> Большая часть рисунков статьи взята именно из этих работ.

ки маховиков, и мощность солнечных панелей, снизившаяся за годы работы в процессе уменьшения высоты перигея, остаются тем не менее достаточными для продолжения непрерывных наблюдений в течении ряда, а возможно и всех оставшихся семи лет.

Продолжение работы обсерватории ИНТЕГРАЛ крайне важно по нескольким причинам.

- В случае близкой вспышки сверхновой или новой обсерватория ИНТЕГРАЛ будет единственной, способной выполнить полноценное исследование радиоактивного излучения такого события. Сверхновая SN 2014J, успешно наблюдавшаяся обсерваторией с расстояния 3.5 мегапарсек (или 12 млн световых лет), была тем не менее самой близкой сверхновой типа Ia за последние 50 лет, а SN 1987A, в исследование рентгеновского излучения которой ИНТЕГРАЛ внес очень весомый вклад, была самой близкой (50 килопарсек) наблюдавшейся сверхновой с коллапсировавшим ядром за последние примерно 350 лет. При этом ученые убеждены, что в галактике типа Млечного Пути на расстоянии от Земли порядка 20 килопарсек сверхновые должны вспыхивать каждые 30–50 лет.
- В наступившую эпоху многоканальной астрономии неocenim будет вклад обсерватории в поиск и исследование электромагнитных спутников (гамма-всплесков) гравитационно-вол-

новых событий, регистрируемых антеннами LIGO/Virgo/KAGRA, и нейтринных событий, регистрируемых установками IceCube и Baikal-GVD (Байкальским нейтринным телескопом).

- В ближайшие годы запуск гамма-обсерваторий, сопоставимых по возможностям с обсерваторией ИНТЕГРАЛ, не предвидится, поэтому ее вклад в наблюдения в жестком рентгеновском и мягком гамма-диапазонах остается важным и существенно дополняющим масштабные исследования, ведущиеся на более мягких (рентгеновских) энергиях.

Авторы хотят пожелать обсерватории ИНТЕГРАЛ столь же успешной и эффективной работы еще долгие годы и новых открытий и замечательных результатов в познании Вселенной!

Литература

1. Гребенев С.А., Маркевич М.Л., Павлинский М.Н., Сюняев Р.А. Рентгеновский телескоп АРТ-П на борту обсерватории ГРАНАТ / Земля и Вселенная, 1993, 6, 3.
2. Гребенев С.А., Сюняев Р.А. Международная астрофизическая лаборатория гамма-лучей ИНТЕГРАЛ. Земля и Вселенная, 2003, № 2. С. 3.
3. Сюняев Р.А., Чуразов Е.М., Лутовинов А.А., Ревнивцев М.Г., Сазонов С.Ю., Гребенев С.А. Вселенная под присмотром «Интеграла». Земля и Вселенная, 2015, № 5. С. 18.
4. Kuulkers et al. INTEGRAL reloaded: spacecraft, instruments and ground system, New Astronomy Reviews, 2021, v. 93, id. 101629.
5. Winkler et al. The INTEGRAL mission, Astronomy & Astrophysics, 2003, v. 411, L1-L6.

Любопытные факты из истории обсерватории ИНТЕГРАЛ

Соглашение между Российским авиационно-космическим агентством и Европейским космическим агентством (ЕКА) о сотрудничестве по реализации проекта Международной астрофизической лаборатории гамма-лучей ИНТЕГРАЛ было одобрено распоряжением Правительства РФ, подписанным Председателем Правительства РФ В.В. Путиным 17 сентября 1999 г. (спустя месяц после вступления в эту должность). До этого пакет документов готовился к подписанию и проходил согласования четыре раза – всеми сменяющими друг друга Председателями Правительства РФ, начиная с В.С. Черномырдина. Это был первый, а возможно и единственный международный космический проект, одобренный на столь высоком уровне.

Ракета-носитель «Протон» доставила обсерваторию ИНТЕГРАЛ на орбиту с высотой перигея 690 км, но в течение нескольких последующих дней он был поднят до 9000 км (выше

протонных радиационных поясов Земли) с помощью собственной двигательной установки спутника, чтобы «обеспечить сохранность уникальных радиационно-чувствительных приборов обсерватории». Спустя годы, в процессе естественной эволюции орбиты, высота перигея все же опустилась до ~3000 км. Это произошло в 2011 г., а в период 2010–2012 гг. высота перигея была постоянно ниже 5000 км, затем она вновь стала расти. Как ни странно, связанные с нахождением в радиационных поясах повреждения были замечены только у солнечных панелей (батарей) спутника, мощность которых упала примерно на 10%, научные приборы никакой критической деградации не показали. В 2020 г. высота перигея опустилась уже ниже 2000 км, вызвав дополнительное падение мощности панелей на ~10%.

В январе – феврале 2015 г. орбита аппарата ИНТЕГРАЛ была скорректирована с помощью четырех последовательных импульсов двигательной установки, чтобы обеспечить его безопасный естественный сход с орбиты и затопление в безлюдных районах Мирового океана в 2029 г. Орбита была успешно изменена и стала 64-часовой (вместо исходной 72-часовой), при этом было израсходовано заметное количество топлива – примерно половина имевшегося в то время на борту. Коррекция была осуществлена в рамках кампании по избавлению околоземного пространства от космического мусора в соответствии с новыми правилами ЕКА, принятыми после внезапной потери связи со спутником ENVISAT 8 апреля 2012 г.

В мае 2015 г. астрономы, занимающиеся поиском и отслеживанием потенциально опасных астероидов в рамках Каталинского обзора неба (CSS), обнаружили недалеко от Земли неизвестный объект, названный WJ2B5AC. Была проведена проверка его положения на совпадении с орбитами известных искусственных аппаратов, но без успеха. Таким образом, временно он стал кандидатом в астероиды. Последующий анализ показал, что орбита объекта все же геоцентрическая с периодом 3831 минут, поэтому должна принадлежать какому-то спутнику или остаткам ракеты (ее разгонного блока). Лишь в середине декабря было выяснено, что этот спутник – ИНТЕГРАЛ. По неясной причине информация об изменении его орбиты не была учтена в программах CSS. Так, ИНТЕГРАЛ в течение почти года считался «небесным камнем».

По уверениям специалистов, оставшихся на борту 48 кг топлива было более чем достаточно для разгрузки гиродин (маховиков), используемых при перенаведениях обсерватории на разные мишени на небе, вплоть до планового завершения миссии. В действительности совершенно неожиданно оказалось, что расход топлива после коррекции орбиты резко вырос (за следующий год, к январю 2016 г., было потрачено 7 кг топлива), что вызвало серьезную обеспокоенность в Центре управления миссиями ЕКА (ESOC, Дармштадт). Анализ показал, что из-за изменения ориентации спутника на новой орбите по отношению к Солнцу давление света (прежде всего на солнечные панели) стало его сильнее разворачивать относительно центра тяжести, что усилило загрузку маховиков. ESOC разработал новую стратегию наблюдений, и в последующие годы расход топлива сократился до ~3 кг в год.

Но 16 мая 2020 г. случилась новая напасть – в ходе разгрузки маховиков давление в баках с топливом упало, а спутник внезапно развернулся. Это было вызвано неожиданными побочными эффектами уменьшения количества топлива, оставшегося в баках. Хотя формально его было еще достаточно, полагаться на полноценную работу движков при разгрузке гиродин стало рискованно. Специалисты ESOC почти месяц пытались найти выход из этой ситуации и нашли совершенно замечательное решение. Они предложили использовать вращающийся в противоположные стороны гиродин и специальный маневр спутника, названный ими Z-кувырк (Z-flip), для их разгрузки, при этом Солнце освещало аппарат с разных сторон и давление его света со временем компенсировалось.

Отключение одного из гиродин спутника ИНТЕГРАЛ 22 сентября 2021 г. стало самым критическим событием в истории его работы на орбите. Оно привело к неконтролируемому вращению спутника с темпом примерно 10 градусов в минуту вокруг двух осей и как следствие – к проблемам с телеметрией (ее транзитное поступление) и электропитанием (разрядка батарей). Согласно оценкам специалистов, спутнику оставалось жить не более трех часов. Тем не менее, благодаря мастерству и титаническим усилиям специалистов ESOC, он был в очередной раз спасен и возвращен в рабочее состояние. На поэтапное (шаг за шагом) возвращение его к жизни и включение научных приборов потребовалось девять дней. Вот уже больше года он безукоризненно работает и продолжает радовать нас новыми открытиями и результатами.

«КУАФУ» ГОНИТСЯ ЗА СОЛНЦЕМ

ЛИСОВ Игорь Анатольевич,

портал «Новости космонавтики»

Оригинал статьи опубликован на портале «Новости космонавтики» 10.10.2022

<https://novosti-kosmonavtiki.ru/articles/84839.html>

Публикуется с любезного разрешения автора.

DOI: 10.7868/50044394822060056

9 октября 2022 г. в 07:43 пекинско-го времени (8 октября в 23:43 UTC) с пусковой установки № 94 Центра космических запусков Цзюцюань был произведен пуск РН «Чанчжэн-2D» (CZ-2D № Y55) с научным КА «Куафу-1», который был успешно выведен на орбиту с начальными параметрами:

- наклонение – 98.26°;
- минимальная высота – 713.4 км;

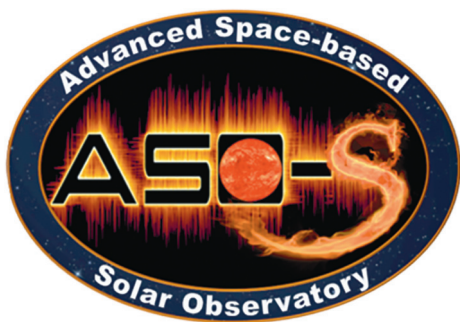
- максимальная высота – 732.4 км;
- период обращения – 99.25 мин.

В американском космическом каталоге спутник получил номер 54029 и международное обозначение 2022-129A.

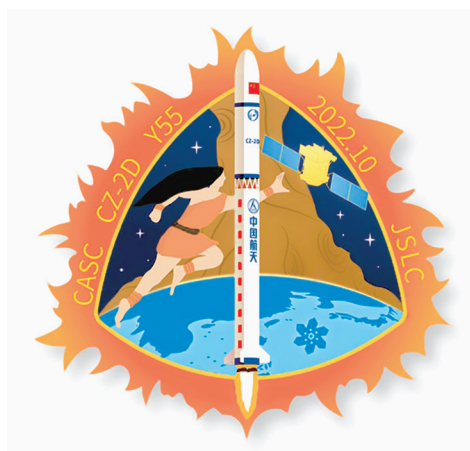
«Куафу-1» (夸父一号, Kuaifu 1) создан в Инновационной исследовательской академии микроспутников Китайской академии наук (Innovation Academy for Microsatellites, Chinese Academy of

Пуск ракеты-носителя CZ-2D9 октября 2022 г. с КА миссии ASO-S. Фото Синьхуа





Эмблемы проекта и запуска миссии ASO-S.
Изображения CAS и SAST



Sciences, IAMCAS) в Шанхае и получил свое личное имя в честь героя китайского эпоса – великана, который пытался догнать и захватить Солнце. До старта он был известен под описательным наименованием «Передовая космическая солнечная обсерватория» (кит. 先进天基太阳天文台, *сяньцзинь тьянцзи тайян тьяньвэньтай*; англ. Advanced Space-based Solar Observatory, ASO-S)¹.

Космические проекты по изучению Солнца предлагались в Китае на протяжении многих десятилетий; самый первый из них появился еще в 1976 г. и назывался ASTRON-1 (так же, как и запущенная в 1983 г. советская астрофизическая обсерватория). В 1996 г. был выдвинут проект Космической солнечной обсерватории SST (Space Solar Observatory). В 2000-е гг. предлагался совместный китайско-французский проект малого КА для наблюдения солнечных вспышек SMESE (SMall Explorer for Solar Eruptions). Тогда же зародился и комплексный международный проект «Куафу» по изучению системы «Солнце – Земля» и «космической погоды» с тем же названием, что и у реализованного ныне, но с другим содержанием.

¹ Английский сайт проекта http://aso-s.pmo.ac.cn/en_index.jsp

Предполагалось проследить всю цепь событий в этой области, начиная от солнечных вспышек и корональных выбросов до магнитных бурь и полярных сияний в земной магнитосфере. В системе должны были работать сразу три КА: «Куафу-А» в точке Лагранжа L_1 , в 1.5 млн км от Земли в сторону Солнца регистрировал бы события на Солнце и возмущения межпланетной среды, а «Куафу-В1 и -В2» с полярных орбит наблюдали бы за событиями в северной полярной области Земли. В октябре 2012 г. Национальный центр космической науки (National Space Science Center, NSSC) Китайской академии наук (CAS) и Европейское космическое агентство подписали соглашение о намерениях, однако состоявшийся сразу после этого Совет ЕКА не поддержал выделение средств на спутники «Куафу-В». Обсуждение с российской стороной также не принесло результата, и в мае 2014 г. работы были остановлены.

Таким образом, ни этот амбициозный проект, ни другие китайские солнечные проекты не прошли далее стадии проработки концепции. Единственным исключением стал прибор для наблюдения Солнца – рентгеновский и гамма-спектрометр, который был размещен на орбитальном отсеке

беспилотного корабля «Шэньчжоу-2» и работал на протяжении полугода его полета в 2001 г.

В 2011 г. CAS открыла новое научное направление стратегических научно-исследовательских программ в области космической науки. В его рамках с сентября 2011 по март 2013 г. было выполнено обоснование концепции миссии ASO-S (отчасти на базе предыдущего проекта SMESE) по изучению магнитного поля и вспышечной активности Солнца, и в январе 2014 г. она была принята к предварительной проработке по фазам А и В американско-европейской системы описания жизненного цикла проекта.

В июне 2016 г. проект был официально анонсирован Китаем как возможная часть второго этапа реализации научной космической программы страны. Основными задачами обсерватории ASO-S стали исследования причинно-следственных связей между

солнечными вспышками, корональными выбросами масс и магнитным полем Солнца, а попутной прикладной задачей – получение данных, необходимых для прогнозирования космической погоды.

В июне 2017 г. после защиты первого этапа началась углубленная проработка в рамках фазы В. После ее успешного завершения в апреле 2019 г. проект ASO-S был принят к реализации с запуском весной 2022 г. с прицелом на работу в течение 25-го солнечного максимума (2022–2025).

Как мы видим, аппарат был успешно изготовлен и запущен с полугодовой задержкой относительно первоначально заявленного срока – 24 августа 2022 г. он прошел выходной контроль на предприятии-изготовителе в Шанхае и в начале сентября был доставлен на космодром для запуска. Старт планировался утром 7 октября (30 сентября было выпущено уведомление

Команда ASO-S на фоне аппарата под головным обтекателем ракеты-носителя. Фото CASC





Внешний вид КА ASO-S. Изображение CAS

о закрытии района падения), но 4 октября был отложен на двое суток.

Это был 442-й старт носителя семейства «Великий поход», в том числе 171-й для ракет Шанхайской исследовательской академии космической техники (Shanghai Academy of Spaceflight Technology, SAST), а для CZ-2D – 67-й в общем зачете и уже 10-й в 2022 году. Для шанхайской Инновационной академии микроспутников ASO-S стал 86-м аппаратом, а его запуск – 45-м в истории «академической» фирмы.

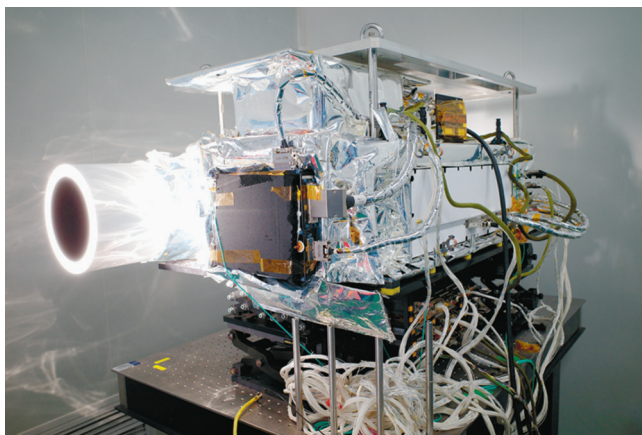
Стартовая масса ASO-S – 888 кг (по другим сообщениям, 859 кг), из которых 366 кг приходится на полезную нагрузку. Аппарат высотой 2.45 м и поперечным размером 2.38 м выполнен по схеме с трехосной ориентацией и стабилизацией с двумя гироскопами и тремя звездными датчиками и исполнительными элементами в виде четырех маховиков и магнитных катушек, обеспечивающих наведение с точностью 0.01° и стабилизацию на уровне $0.0005^\circ/\text{сек}$. Электропитание поступает от двух солнечных батарей: в среднем аппарат расходует 898 Вт, в пике до 1235 Вт. Сброс информации идет в X-диапазоне через антенны типа ФАР со скоростью до 1000 Мбит/с, бортовое устройство хранения информа-

ции имеет емкость 4 Тбит. Работа КА рассчитана на четыре года.

На борту ASO-S установлены векторный магнитограф диска Солнца FMG (Full-Disk Vector MagnetoGraph) для картирования магнитного поля в фотосфере с мониторингом накопления и высвобождения его энергии, солнечный телескоп линии Лайман-альфа LST (Lyman- α Solar Telescope; известен также как LAT) для изучения динамики активности светила, включая формирование и начальную эволюцию корональных выбросов, а также вспомогательная аппаратура HXI (Hard X-ray Imager) для регистрации жесткого рентгеновского излучения, отражающего нетепловые физические процессы солнечных вспышек.

Магнитограф FMG спроектирован специалистами Национальной астрономической обсерватории Китая (National Astronomical Observatories of Chinese Academy of Sciences, NAOC) и изготовлен в Сианьском институте оптики и точной механики (Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, XIOPM). Принцип действия прибора основан на поляризации спектральной линии при наличии магнитного поля. FMG ведет поляризационные измерения в спектральной линии FeI (532.4 нм) с про-

Прибор FMG (Full-disc
Magnetograph). Фото: сайм
<http://aso-s.pmo.ac.cn/>



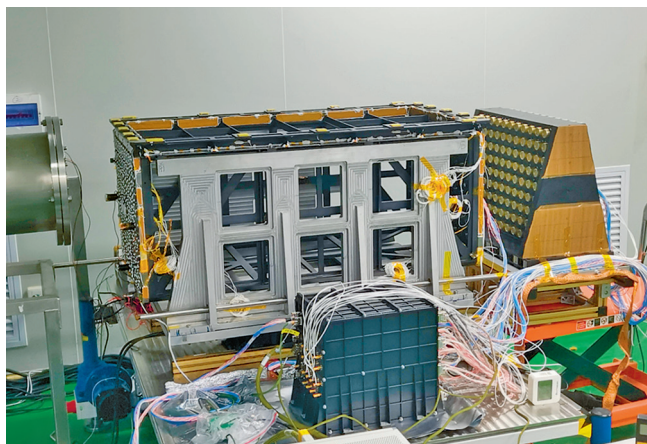
Солнечный телескоп LST
(Lyman-alpha Solar Telescope).
Фото: Changchun Institute
of Optics, Fine Mechanics
and Physics

пространственным разрешением $1.5''$, на основании которых магнитное поле в фотосфере Солнца определяется с чувствительностью 5 Гс в продольном и 150 Гс в трансверсальном направлении. Полный «кадр» строится за 2 мин., а в быстром режиме – за 40 сек.

Инструмент LST создан в Чанчуньском институте оптики, точной механики и физики (Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, CIOMP). Это комплексный прибор, фактически включающий два телескопа и два коронографа. Камера SDI (Solar Disk Imager) ведет съемку Солнца в пределах от центра диска до $1.2 R_{\odot}$, а камера SCI (Solar Corona Imager) – внутренней части солнечной короны между 1.1 и 2.5 радиуса светила в линии

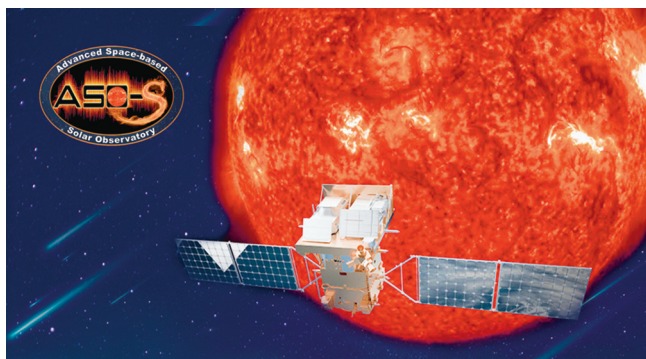
Лайман-альфа (121.6 ± 7.5 нм), наблюдая развитие и продвижение солнечной вспышки; у SDI имеется также канал видимого диапазона (660–740 нм). Вспомогательный солнечный телескоп WST (Whitelight Solar Telescope) работает в той же пространственной области, что и SDI; он служит для калибровки остальных инструментов и ведет вспомогательные наблюдения в полосе 360 ± 2 нм.

За создание рентгеновского прибора HXI отвечала Обсерватория Цзыцзиньшань в Нанкине (Zijinshan Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences). Этот коллиматорный телескоп построен по принципу японского прибора НХТ на спутнике *Yohkoh* и измеряет компоненты Фурье с использованием 91 пары решеток



Прибор HXI (Hard X-ray Imager).
Фото: Zhe Zhang, Dengyi Chen,
Wei Chen, Yang Su

КА «Куафу» в представлении
художника. Изображение
с сайта <http://aso-s.pmo.ac.cn/>



с последующей реконструкцией изображения путем математической обработки. Инструмент строит каждые 0.5 с изображение Солнца в диапазоне энергий 30–200 кэВ с угловым разрешением 3" и энергетическим разрешением 27%. Он же ведет измерения общего потока солнечных и фоновых частиц.

С учетом научных задач проекта для КА ASO-S была выбрана солнечно-синхронная орбита наклонением 98.2° и высотой 720 км терминаторного типа, с прохождением нисходящего узла в 06:00 местного времени. На ней аппарат будет почти все время освещен Солнцем и сможет вести непрерывные наблюдения за светилом. Лишь вблизи летнего солнцестояния в южной части орбиты он будет входить в тень, максимальная продолжительность которой достигнет 18 минут за ви-

ток. Высота орбиты стала результатом компромисса между требованиями инструментов HXI (возможно, меньший фон заряженных частиц вдоль орбиты) и LST (минимальная засветка со стороны Земли).

Стоимость ASO-S оценивается в 900 млн юаней (126 млн долл.). Проектом руководит NSSC CAS, он же отвечает за его наземную систему обеспечения. Главным конструктором проекта ASO-S является Цуй Цзицзюнь (崔吉俊), а научным руководителем – Гань Вэйцзюнь (甘为群), представитель обсерватории Цзыцзиньшань. Научные руководители по отдельным приборам – Дэн Юаньюн (邓元勇) по FMG, Ли Хуэй (黎辉) по LST и У Цзянь (伍健) по HXI.

Прием научной информации с КА ведет Инновационная исследовательская академия аэрокосмической

Таблица 1. Основные характеристики приборов ASO-S

Характеристика	Значение		
Векторный магнитограф FMG			
Апертура	140 мм		
Поле зрения	34'		
Пространственное разрешение	1.5"		
Спектральная линия	(Fe I) 532.4 нм		
Спектральная ширина (FWHM)	0.011 нм		
Временное разрешение	2 мин. в нормальном режиме 40 сек. в быстром режиме		
Ошибка измерения поляризации	0.0015 в нормальном режиме		
Солнечный телескоп Лайман-альфа LST			
	SCI	SDI	WST
Диаметр	60 мм	60 мм	130 мм
Область наблюдения	1.1–2.5 R _☉	0–1.2 R _☉	0–1.2 R _☉
Спектральная полоса	121.6 ± 10.0 нм, 700 ± 40.0 нм	121.6 ± 7.5 нм	360 ± 2.0 нм
Пространственное разрешение	4.8"	1.2"	1.2"
Временное разрешение	15–60 сек.	4–40 сек.	1–120 сек.
Рентгеновский телескоп HXI			
Поле зрения	40'		
Энергетический диапазон	30–200 кэВ		
Энергетическое разрешение	27% на уровне 32 кэВ		
Временное разрешение	0.5 сек.		
Пространственное разрешение	3" на уровне 32 кэВ		
Количество решеток	91		

информации Китайской Академии наук (Aerospace Information Research Institute, AIR) с использованием наземных станций Санья, Каши и Миюнь, а ее обработка, хранение и распределение – сфера ответственности обсерватории Цзыцзиньшань. Главным конструктором научной прикладной системы является Ли Хуэй.

Данные ASO-S, поступающие в объеме до 500 Гбайт ежедневно, будут от-

крыты для использования всеми членами мирового научного сообщества.

Стоит добавить, что годом раньше, 14 октября 2021 г., в Китае была запущена «малая» солнечная обсерватория «Сихэ», известная также как CHASE².

² О запуске можно подробно прочитать в статье «“Сихэ” присмотрит за Солнцем» на портале «Новости космонавтики» <https://novosti-kosmonavтики.ru/articles/81659.html>



Внешний вид спутника CHASE. Фото SAST

Этот научно-экспериментальный аппарат дополняет основную обсерваторию ASO-S, решая одну конкретную научную задачу: спектроскопия полного диска Солнца с построением в режиме растрового сканирования двумерного спектрального «портрета» светила.

Имя CHASE имеет расшифровку Chinese H-Alpha Solar Explorer, то есть «китайский исследователь Солнца в линии H α ». Напомним, что спектральная линия Лайман-альфа (121.6 нм) генерируется при переходе электрона в атоме водорода со 2-го на 1-й (основной) энергетический уровень, а линия H α (она же Бальмер-альфа, 656.3 нм) – с 3-го на 2-й. Обе они появляются в результате ионизации атомов водорода с последующей рекомбинацией и излучением избытка энергии по мере приближения электрона к основному уровню.

Единственный инструмент в составе CHASE называется HIS (H α Imaging

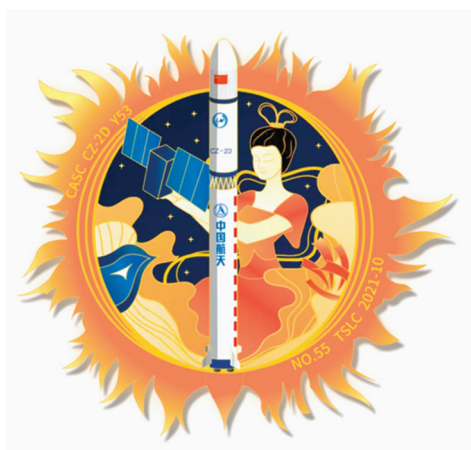
Spectrograph, видовой спектрограф линии H α). Его задача – спектроскопия полного диска Солнца с построением в режиме растрового сканирования двумерного спектрального «портрета» светила. На основании этих данных формируются двумерные изображения Солнца в двух близких линиях – 656.3 нм (H α) и 656.9 нм (FeI), которые соответствуют условиям на различных уровнях в его атмосфере.

Наблюдения в линии H α позволяют выявить предвестники солнечной активности в фотосфере и хромосфере и понять спусковые механизмы и динамику солнечных вспышек. Особый интерес представляют филаменты – тонкие волокна над активными областями Солнца. Ученые рассчитывают проследить связь их структуры и эволюции с солнечными вспышками. Фотосферная линия FeI служит для спектральной калибровки.

Прибор построен на базе телескопа с апертурой 180 мм и фокусным расстоянием 1820 мм с полем зрения $40' \times 40'$ и имеет пространственное разрешение $1''$. Имеются два основных спектральных канала (656.28 ± 0.25 нм и 656.92 ± 0.08 нм) со спектральным разрешением 0.007 нм, что позволяет отнести HIS к классу гиперспектрометров. Растровое сканирование ведется с шагом 10 мсек по времени, так что за 46 секунд снимается 4600 отдельных спектров и формируется полный спектральный портрет Солнца; кроме того, ежесекундно строится изображение светила в полосе с центром 668.9 нм.

Стартовая масса аппарата – 510 кг, при этом инструмент HIS занимает довольно скромное место, имея массу около 40 кг при габаритных размерах $489 \times 480 \times 517$ мм.

В проекте CHASE 803-й институт Шанхайской исследовательской академии космической техники (Shanghai Academy of Science and Technology, SAST) впервые реализовал технологию магнитного подвешивания полезной нагрузки относительно служебного модуля спутника. Во время выведения на орбиту спутниковая платформа и модуль полезного груза фиксированы относительно друг друга, а при эксплуатации фиксация снимается, и модуль полезного груза в отведенном ему отсеке оказывается физически изолированным от платформы. В бортовую систему управления заложен алгоритм ориентации полезной нагрузки, а служебный модуль подстраивается под нее, имея зазор в 5 мм для безударного сопровождения научного прибора. В результате обеспечивается исключительно точное наведение инструмента на Солнце с ошибкой не более 0.0005° (т. е. $1.8''$) при стабильности на уровне лучше $0.00005^\circ/\text{с}$. С учетом разных режимов его работы реализовано пять вариантов работы системы управления.



Эмблема запуска спутника CHASE.
Изображение SAST

В системе электропитания 811-го института SAST реализована беспроводная магнитно-индукционная технология передачи мощности между модулем служебных систем и полезной нагрузкой. 1200 Вт мощности передается с КПД более 80% по всему тракту, а в его магнитно-индукционной части – более 95%.

Проект CHASE реализован Нанкинским университетом (научный руководитель), SAST (подрядчик по КА) и CIOMP (изготовитель прибора HIS). Главным конструктором КА был Чэн Вэйсян (程卫强), а его административным руководителем – Чэнь Цзяньсинь (陈建新). Защита проекта состоялась в мае 2018 г., а в июне 2019 г. Государственное управление оборонной науки, техники и промышленности утвердило его к реализации с запуском в 2021 г.

С учетом научных задач проекта CHASE была выбрана солнечно-синхронная орбита наклонением 97.4° и высотой 517 км терминаторного типа, с прохождением нисходящего узла в 18:00 местного времени. Как и ASO-S, аппарат будет почти все время освещен Солнцем и сможет вести непрерывные наблюдения за светилом. Работа КА рассчитана на три года.

ВАЛЕРИЙ АНАТОЛЬЕВИЧ РУБАКОВ: ПАМЯТИ КОЛЛЕГИ И ДРУГА

САЖИН Михаил Васильевич,

доктор физико-математических наук

САЖИНА Ольга Сергеевна,

доктор физико-математических наук

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова

DOI: 10.7868/50044394822060068

19 октября 2022 г. ушел из жизни Валерий Анатольевич Рубаков – замечательный ученый, академик РАН, профессор Московского университета, лауреат многих российских и международных премий. И наш коллега и друг на протяжении многих лет.

Будучи физиком-теоретиком, В.А. развивал и создавал новые междисциплинарные связи между физикой элементарных частиц и космологией, между наблюдательной космологией и теоретической космологией и физикой многомерных пространств.

Для старшего поколения он был надежной сменой, для своего поколения – широко эрудированным специалистом, у которого всегда можно было спросить совета и мнения по труднейшим научным вопросам, а для младшего поколения он был надежной опорой, требовательным учителем, автором ставших классическими учебников: «Классические калибровочные поля», «Введение в теорию ранней Вселенной», «Теория групп и симметрий».

В этой небольшой статье-воспоминании нам хотелось бы остановиться только на обсуждении нескольких научных работ В.А., имеющих непосредственное отношение к космологии. Мы предоставляем специалис-

там по теоретической физике и физике элементарных частиц со временем подробно осветить его вклад в эти разделы физики, а также рассказать о его важнейших работах по организации Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН и Байкальского глубоководного детектора нейтрино и мюонов. Здесь же только упомянем, что достижения В.А. отмечены международной Гамбургской премией по теоретической физике (2020), Демидовской премией (2016), званием Человека года в номинациях «Наука» и «Город и общество» г. Троицк (2013), премией им. М.В. Ломоносова (2012) за цикл работ «Реликтовое излучение и современная космология», премией им. Юлиуса Весса (2010), премией им. академика М.А. Маркова (2005), премией им. И.Я. Померанчука (ИТЭФ) (2003), премией им. А.А. Фридмана (1999).

Нам, авторам-космологам, посчастливилось работать с В.А. над трудной и интересной темой – темной энергией в нашей Вселенной и ее наблюдательными проявлениями. Ранее, в 1982 г., М.В. Сажин исследовал вместе с ним проблему гравитационных волн, порожденных ранней Вселенной, во время инфляционной эпохи ее развития. Статья, посвященная этому во-



В.А. Садовничий, М.В. Сажин, В.А. Рубаков на вручении премии им. М.В. Ломоносова (2012) за цикл работ «Реликтовое излучение и современная космология»; торжественное вручение премии в Главном здании МГУ им. М.В. Ломоносова

просу, явилась одной из самых ярких статей по космологии 80-х гг. прошлого века. Остановимся сначала на этой работе.

Как известно, наша Вселенная изотропна и однородна с очень высокой точностью, 0.0001%. Тем не менее в ранней Вселенной с необходимостью должны существовать малые флуктуации, из которых по мере расширения Вселенной образуется та крупномасштабная структура из цепочек сверхскоплений галактик, перемежающихся гигантскими войдами, которую мы сейчас наблюдаем в телескопы. Такие малые флуктуации делятся на три группы: скалярные – это возмущения плотности материи, векторные – это вращательные возмущения, и тензорные – это космологические гравитационные волны.

Спектр флуктуаций скалярного поля был предсказан Я.Б. Зельдовичем еще в 1972 г., а в 90-е гг. прошлого века – А.А. Старобинским и В.Ф. Мухановым уже в контексте инфляционной модели Вселенной. Это предсказание было подтверждено открытием анизотропии реликтового излучения. Космологические гравитационные волны представляют особый интерес, так как их амплитуды, совместно с амплитудами скалярного поля, непосредственно связаны с инфляционным полем, генерирующим инфляционную стадию ранней Вселенной. На сегодняшний момент космологи с уверенностью полагают, что инфляционная стадия – стремительное экспоненциальное расширение ранней Вселенной – должна стать неотъемлемой частью Стандартной космологической модели. И вопрос о точных характеристиках этой стадии зависит от космологических гравитационных волн. В работе Рубакова, Сажина и Веряскина 1982 г. такие гравитационные волны были предсказаны. Космологические гравитационные волны пока достоверно не обнаружены

(эксперимент BICEP2), хотя есть уверенность в их существовании. Гравитационные волны от инфляционной стадии должны генерировать слабые «закрученные» структуры в поляризации реликтового излучения (так называемые В-моды поляризации), а для флуктуаций плотности, которая дает основной вклад в поляризацию реликтового излучения, следы В-моды отсутствуют. В-мода действительно была зарегистрирована, но пока надежно не установлено ее происхождение, потому что она наряду с космологическими гравитационными волнами может быть обусловлена и галактической пылью, и космическими струнами, и преобразованными следами от поляризации скалярных возмущений.

Инфляционную стадию и инфляционное поле ранней Вселенной связывают с понятием темной энергии. Согласно наблюдательным данным, современная Вселенная также находится в стадии экспоненциального ускоренного расширения, которое тоже ассоциируется с теперь уже современной темной энергией. Ее плотность доминирует над плотностью материи и излучения, и эволюция нашего мира в будущем очень сильно зависит от параметров темной энергии.

В нашей работе с В.А. в 2009 г. мы исследовали возможность того, что темная энергия может иметь фантомный тип – это означало бы, что при расширении Вселенной плотность такой темной энергии возрастала и что вакуум мог бы становиться нестабильным. Полученные нами оценки оказались оптимистическими – этот катастрофический сценарий будущего Вселенной маловероятен.

Говоря о В.А., нельзя не упомянуть такое значимое явление советской и российской физики, как QUARKS – Международный семинар по физике сверхвысоких энергий.



XXII INTERNATIONAL SEMINAR
ON HIGH-ENERGY PHYSICS

QUARKS-2022

JUNE 2022

ONLINE
WORKSHOPS








2nd week of June 2022:

Charm of beauty at e^+e^- colliders
Conveners:
Sergey Barsuk (IJCLab Orsay),
Pavel Pakhlov (Lebedev Inst.),
Vitaly Vorobyev (Budker Inst. & Novosibirsk U.)

Multiloop calculations: methods and results
Conveners:
Konstantin Chetyrkin (KIT & Regensburg U.),
V.A. Smirnov (SINP MSU)

3rd week of June 2022:

Recent developments in gauge theory — string theory duality
Conveners:
Dmitry Ponomarev (ITMP MSU & Lebedev Inst.),
Arkady Tseytlin (Imperial Coll. & ITMP MSU)

Physics of the Early Universe
Conveners:
Mikhail Shaposhnikov (EPFL),
Andrey Shkerin (Minnesota U.),
Inar Timiryasov (Copenhagen U.),
Sebastian Zell (EPFL)

Astroparticle Physics
Conveners:
Grigory Rubtsov (INR RAS),
Dmitry Semikoz (APC),
Sergey Troitsky (INR RAS)

4th week of June 2022:

High-energy physics meets condensed matter
Conveners:
Max Metlitski (MIT),
Dam T. Son (Chicago U.)

Light neutrinos
Conveners:
Mikhail Danilov (Lebedev Inst.),
Dmitry Gorbunov (INR RAS)

Workshop speakers will be invited by the conveners.







Telephone: +7(499)783-92-91
E-Mail: quarks@ms2.inr.ac.ru
URL: <http://quarks.ru>

To attend:



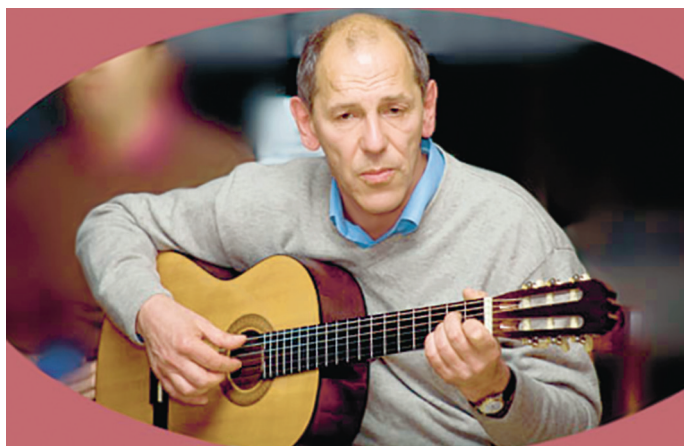





Постер XXII Международного семинара по физике сверхвысоких энергий QUARKS, состоявшегося в 2022 г.

Семинар начал свою работу в 1980 г., и его первое заседание прошло в Сухуми. Потом семинар проходил в Тбилиси, Телави, Звенигороде, Владимире, Ярославле, Суздале, Пушкине, Новгороде, Пушкинских Горах, Санкт-Петербурге, Сергиевом Посаде, Коломне, на Валдае. В.А. активно участвовал в организации этого семинара, а в последние годы возглавлял его программный и организационный комитеты. Важно подчеркнуть, что помимо высокой научной составляющей и традиционно большого количества участников со всего мира эти семинары всегда отличало исключительное внимание к людям. Великолепная организация, с большим вкусом подобранные места проведения семинаров, общая дружеская обстановка – все это нам, участникам, будет помниться всегда.

В заключение нам бы хотелось поделиться и личными воспоминаниями. Я (М.В.) познакомился с В.А. еще в далеком 1982 г., во время работы над проблемой гравитационных волн в ранней Вселенной. В.А. тогда был аспирантом физического факультета МГУ, а я – младшим научным сотрудником ГАИШ МГУ. Мы оба были очень воодушевлены последними открытиями в космологии – мы были молоды сами, а наука космология тогда только вступала в свой «золотой век». Сообщения и доклады по космологии на многочисленных научных семинарах (семинар Я.Б. Зельдовича, семинар В.Л. Гинзбурга, семинар А.Л. Зельманова) собирали сотни слушателей. И теперь, спустя годы, я могу сказать, что тогда мы словно бы выросли вместе с космологией – это незабываемое чувство



Научная школа-конференция QUARKS. Слева направо:
И.Л. Бухбиндер, В.А. Рубаков, М.В. Сажин; В.А. Рубаков

причастности к зримому движению научной мысли, к следовавшим одно за другим блестящим наблюдательным подтверждениям теоретических выкладок.

Работать с В.А. было одно удовольствие. Его всегда отличали ясное восприятие научного материала, четко сформулированные мысли. Во время первой нашей работы сложился дружеский и научный контакт, который мы пронесли через всю жизнь.

Литература

1. Rubakov V.A., Sazhin M.V. Graviton creation in the early Universe and Grand Unification Scale // Physical Letters, 115B, 189 (1982). DOI: [https://doi.org/10.1016/0370-2693\(82\)90641-4](https://doi.org/10.1016/0370-2693(82)90641-4)
2. Либанов М.В., Рубаков В.А., Сажина О.С., Сажин М.В. Анизотропия реликтового излучения, индуцированная тахионными флуктуациями темной энергии // ЖЭТФ, 2009. Т. 135, вып. 2. С. 253–264. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1063776109020046>
3. Горбунов Д.С., Рубаков В.А. Введение в раннюю Вселенную: в 2-х т. (2016, 2020).

РОССИЯ – США: 50 ЛЕТ СОТРУДНИЧЕСТВА В КОСМОСЕ¹

Часть 2

ВЕДЕШИН Леонид Александрович,

доктор технических наук

Институт космических исследований РАН

ГЕРАСЮТИН Сергей Александрович

Мемориальный музей космонавтики

DOI: 10.7868/5004439482206007X

КОСМИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ И МЕДИЦИНА

Смешанную советско-американскую рабочую группу по космической биологии и медицине (РГ КБМ) многие годы возглавлял крупный советский ученый академик О.Г. Газенко – один из руководителей медико-биологических исследований на биоспутниках и пилотируемых космических станциях, инициатор развития международного сотрудничества в области космической биологии и медицины².

После завершения полета ЭПАС на встрече РГ КБМ в Москве в Институте медико-биологических исследований (ИМБП) АН СССР специалисты обеих стран обсудили материалы по предполетному и послеполетному обследованию российских космонавтов и астронавтов США, а также результаты наземных исследований и биологических

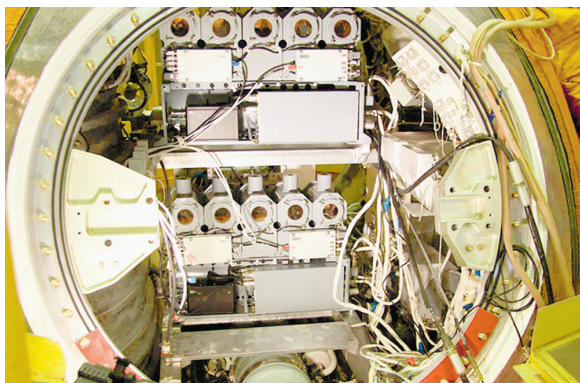
экспериментов в космосе. Состоялся обмен материалами медико-биологических исследований и результатами экспериментов «Микробный обмен» и «Зонообразующие грибки». Участники работ согласовали рекомендации по дальнейшему сотрудничеству. Специалистов СССР и США интересовали инновационные разработки в области профилактических мер по использованию в невесомости амортизаторов и велоэргометров, а также костюмов с вмонтированными в них



Академик О.Г. Газенко в Центре управления экспериментами в Институте медико-биологических проблем АН СССР. 1970-е гг.
Архив ИМБП РАН

¹ Продолжение статьи, начало см.: Земля и Вселенная, 2022, № 5. С. 88–103.

² Газенко О.Г. Космическая биология и медицина: вчера и сегодня // Земля и Вселенная, 1983, № 5; Григорьев А.И., Потапов А.Н. Академик О.Г. Газенко – выдающийся ученый в области космической биологии и медицины // Земля и Вселенная, 2019, № 1.



Биологические эксперименты на спутниках «Бион»: подготовка двух макак-резус к полету, справа – научная аппаратура для размещения биообъектов на возвращаемом аппарате. 1990-е гг. Архив ИМБП РАН

эластичными тяжами, создающими нагрузку на антигравитационную мускулатуру и костно-опорный аппарат, а также комплекс упражнений, «бегущая дорожка» для ходьбы, бега, прыжков, приседания на бортовом тренажере. Эти исследования имели большое значение для долгосрочных полетов на КК, ДОС «Салют», «Мир» и МКС.

В последующие годы сотрудничество в РГ КБМ было продолжено на основе данных полетов 12 биологических спутников серии «Бион» (1973–2013)³. В программе исследований участвовали 20 российских НИИ и 15 иностранных университетов, выполнено свыше 30 совместных экспериментов с участием 12 научных учреждений США и трех из СССР. Усилия ученых были направлены на изучение влияния невесомости, искусственной силы тяжести, микрогравитации и радиации на физиологию разных организмов. В экспериментах на возвращаемых аппаратах серии «Космос» использовались растения, микроорганизмы, насеко-

мые (в том числе мушки-дрозофилы), мыши, крысы, рыбы, черепахи, тритоны, улитки, макаки-резус и др. В 1978 г. результаты исследований были представлены на совещаниях в Ленинграде и Москве. Участники РГ КБМ договорились провести совместный лабораторный эксперимент по воздействию гипокнезии при невесомости: первый в Москве, второй в Исследовательском центре им. Эймса NASA. Результаты совместных исследований под руководством академика О.Г. Газенко были опубликованы в 1975 г. в трех томах «Основы космической биологии и медицины» и совместном СССР и США многотомном труде «Космическая биология и медицина».

В период с 1979 по 1987 г. в связи с обострением отношений между СССР и США функционировала только одна рабочая группа по космической биологии и медицине. Остальные группы в области космической метеорологии, изучения природной среды, исследования околоземного пространства, Луны и планет приостановили свою деятельность.

15 апреля 1987 г. было подписано новое соглашение между СССР и США «О сотрудничестве в исследовании и ис-

³ Пищик В.Б. Биоспутники: вчера, сегодня, завтра // Земля и Вселенная, 1988, № 2; Сычёв В.Н., Ильин Е.А. Проект «Бион-М» // Земля и Вселенная, 2014, № 5.

пользовании космического пространства в мирных целях». Для координации проектов и программ были созданы СРГ по следующим направлениям сотрудничества: исследования Солнечной системы, космическая астрономия и астрофизика, биология и медицина, науки о Земле, физика солнечно-земных связей. В совместных исследованиях в этих направлениях приняли участие крупные советские ученые: академики В.А. Котельников, Н.П. Лавёров, А.А. Боярчук, Р.З. Сагдеев, Р.А. Сюняев, Н.Н. Кардашёв, Л.М. Зелёный, А.М. Черепашук, В.Е. Фортов, А.П. Виноградов, В.Л. Барсуков, Э.М. Галимов, М.И. Панасюк, А.И. Григорьев, К.Я. Кондратьев, А.С. Исаев, Г.С. Голицын, И.И. Гительзон, член-корреспондент РАН А.М. Финкельштейн, доктора физико-математических наук В.И. Мороз, Л.В. Ксанфомалити, доктора технических наук Н.А. Арманд, Ю.К. Ходарев и др.

ДРУГИЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОТРУДНИЧЕСТВА

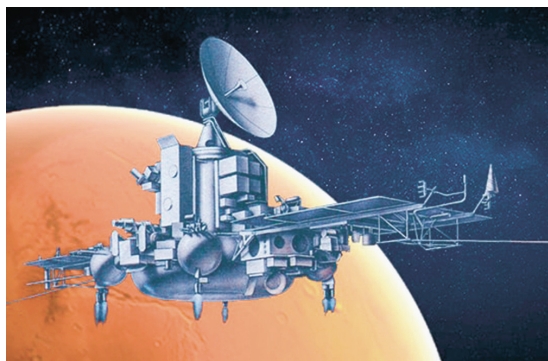
После подписания соглашения «О сотрудничестве в исследовании и использовании космического пространства в мирных целях» крупным советским проектом по программе «Интеркосмос» стал «Фобос», который включал в себя запуск двух АМС «Фобос-1» и «Фобос-2» к Марсу⁴. Старт первой станции состоялся 7 июля 1988 г. (1 сентября в результате ошибки наземного оператора она была потеряна). 12 июля 1988 г. была запущена станция «Фобос-2», которая задумывалась как базовая станция для последующих межпланетных миссий. Бортовая научная аппаратура была создана при участии научных

коллективов из Австрии, Болгарии, Венгрии, Германии, Ирландии, Польши, Финляндии, Франции, Швейцарии, Швеции, Чехословакии, Европейского космического агентства. В баллистическом обеспечении управления космическими аппаратами принимали участие специалисты дальней космической связи США. В ходе 200-суточного полета «Фобоса-2» на трассе Земля – Марс выполнялась научная программа экспериментов по исследованию межпланетного пространства, Солнца, солнечной активности, регистрации солнечных и галактических гамма-всплесков. Кроме того, были проведены телевизионные съемки спутника Марса Фобоса, фотометрические, спектральные и радиометрические исследования Марса и Фобоса, также осуществлялись исследования химического состава атмосферы планеты. Следующий этап сценария миссии подразумевал перевод АМС на еще более близкую к Фобосу орбиту и далее управляемый сход с этой орбиты для сближения с Фобосом и сброс двух малых аппаратов на его поверхность. Однако 27 марта 1989 г. после проведения телевизионных съемок Фобоса, при которых АМС меняла свою ориентацию для наведения поля зрения видео- и спектрометрического комплекса на Фобос, с ней была потеряна радиосвязь. 14 апреля 1989 г. были прекращены попытки восстановления связи с АМС «Фобос-2»⁵.

В 1978–1981 гг. на АМС «Венера-11, -12, -13, -14, 15 и -16» с участием ученых СССР, Франции и Австрии была выполнена серия экспериментов по исследованию рентгеновского и гамма-излучения, а также магнитных полей, характеристик солнечного ветра, космических лучей и межпланетной

⁴ Захаров А.В., Роговский Г.Н. Проект «Фобос» – новая экспедиция к Марсу // Земля и Вселенная, 1987, № 4.

⁵ Тамкович Г.М. Завершена ли программа «Фобос»? // Земля и Вселенная, 1989, № 5.



АМС «Фобос-2» на орбите Марса. Рисунок НПО им. С.А. Лавочкина. Справа – снимок Фобоса, переданный 28 февраля 1989 г. АМС «Фобос-2». Архив ИКИ РАН

плазмы⁶. За время работы с помощью французских приборов «Снег-2МП» и «Снег-2М3» и австрийской аппаратуры были зарегистрированы 50 гамма-всплесков, которые показали, что их источники находятся в нашей Галактике и преимущественно вблизи ее центра.

В 1979 г. на встрече ученых СССР и США в Москве были доложены научные результаты исследований планеты Венеры, выполненные с помощью советских межпланетных станций «Венера-11» и «Венера-12» и американской станции «Пионер-Венера-1»⁷.

В связи с расширением направлений сотрудничества в 1987–1990 гг. в рам-

ках программы «Интеркосмос» планировалась разработка трех крупных международных проектов: «Спектр-Р» («РадиоАстрон»), «Спектр-Рентген-Гамма» («Спектр-РГ») и «Ультрафиолет» («Спектр-УФ») ⁸. Участвовать в реализации этих проектов изъявили желание ученые многих стран, в том чис-

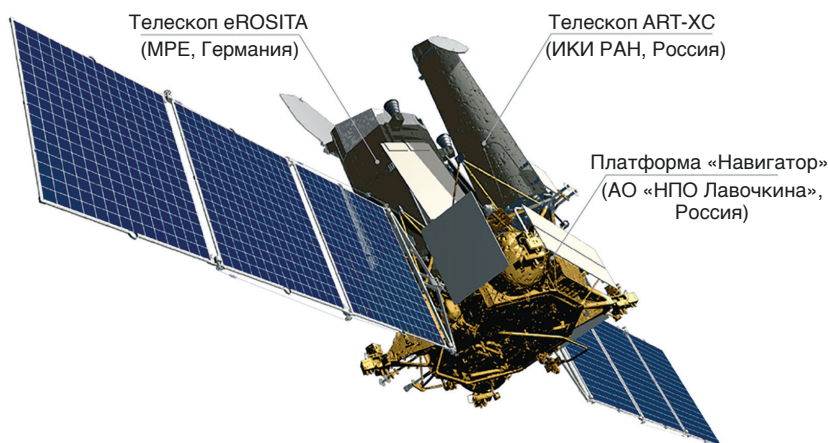
Российский космический аппарат «Спектр-Р» с обсерваторией «РадиоАстрон» на орбите. Рисунок ИКИ РАН



⁶ Морозов С.Ф. Межпланетные станции «Венера-11» и «Венера-12» // Земля и Вселенная, 1979, № 4; Ксанфомалити Л.В. Атмосфера и поверхность Венеры // Земля и Вселенная, 1983, № 4; Ржига О.Н. Взгляд сквозь облака («Венера-15 и -16») // Земля и Вселенная, 1984, № 1.

⁷ Ксанфомалити Л.В. Новые исследования Венеры // Земля и Вселенная, 1979, № 4; Гольдовский Д.Ю. Межпланетные станции «Пионер – Венера» // Земля и Вселенная, 1979, № 4.

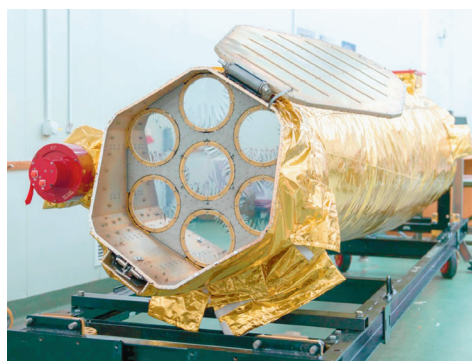
⁸ Сюняев Р.А., Терехов О.В. «Спектр-Рентген-Гамма» // Земля и Вселенная, 1997, № 2; Боярчук А.А., Шустов Б.М. Обсерватория «Спектр-УФ» – окно в ультрафиолетовый космос // Земля и Вселенная, 1999, № 2; Кардашёв Н.С. Радиотелескоп больше Земли («РадиоАстрон») // Земля и Вселенная, 2000, № 4.



Российская космическая обсерватория «Спектр-РГ». Рисунок НПО им. С.А. Лавочкина. Справа – зеркальный рентгеновский телескоп ART-XC им. М.Н. Павлинского перед тестированием. 2016 г. Фото ИКИ РАН

ле США. Из-за происшедших в стране политических изменений и отсутствия финансирования реализация первого проекта «Спектр-Р» состоялась спустя почти 20 лет.

18 июля 2011 г. КА «Спектр-Р» с космической обсерваторией «РадиоАстрон» был запущен с космодрома Байконур, научным руководителем программы являлся академик Н.С. Кардашёв. После полугодового периода технологической отработки функционирования служебных систем и научного комплекса, включая работу в режиме наземно-космического интерферометра, в марте 2012 г. начались эксперименты с радиотелескопом. За 7.5 лет функционирования на орбите вместо трех определенных в тактико-техническом задании КА выполнил все основные возложенные на него функции и показал отличную работу в качестве источника данных далеко за пределами первоначальной научной программы. Научные результаты получили широкое международное признание, астрофизики ведущих астрономических учреждений во всем мире прини-



мали активное участие в ключевой научной программе. Более 200 человек из более 20 стран мира были связаны плодотворной международной кооперацией в осуществлении научной программы проекта «РадиоАстрон». Исследовано несколько сотен объектов: ядер галактик, квазаров, пульсаров, областей звездообразования. За время работы был зафиксирован целый ряд достижений и интереснейших результатов⁹.

⁹ Кардашёв Н.С. Космическая радиоастрономия // Земля и Вселенная, 2005, № 3; На орбите «Спектр-Р» // Земля и Вселенная, 2011, № 6. С. 17–18; Первые результаты «РадиоАстрона» // Земля и Вселенная, 2012, № 6. С. 66; Ковалёв Ю.Ю. Семь лет «РадиоАстрона» // Земля и Вселенная, 2019, № 5; Инастов А.В., Ведешин Л.А. Перспективы использования радиотелескопов на Земле, в космосе и на Луне // Земля и Вселенная, 2021, № 3.

В рамках программы «Интеркосмос» в 1987 г. в ИКИ РАН началась разработка второго международного проекта «Спектр-Рентген-Гамма» – орбитальной астрофизической обсерватории, предназначенной для изучения Вселенной в гамма- и рентгеновском диапазонах энергий 0.3–30 кэВ и составления рентгеновской карты всего неба, а также фиксации редких гамма-всплесков. Концепция проекта была сформирована еще в 1987 г. совместно учеными СССР, Финляндии, ГДР, Дании, Италии и Великобритании. Предполагалось, что на обсерватории будет установлен рентгеновский телескоп с оптической косоугольной проекцией и большой площадью детекторов. В связи с многолетними финансовыми и техническими задержками работ по созданию космического аппарата запуск обсерватории «Спектр-РГ» долго откладывался, в результате концепция проекта несколько раз менялась.

Обсерваторию «Спектр-РГ» оснастили двумя рентгеновскими телескопами – российским ART-XC (диапазон 4–30 кэВ, поле зрения 0.3° , угловое разрешение $45''$) и немецким eROSITA (диапазон 0.2–10 кэВ, поле зрения 0.81° , угловое разрешение $28''$). Рентгеновские зеркальные системы и детекторы для телескопа ART-XC изготавливались в 2009–2018 гг. в ИКИ РАН и ВНИИ экспериментальной физики, научный руководитель проекта – доктор физико-математических наук М.Н. Павлинский (ИКИ РАН). На телескопе установили американские зеркала, разработанные и созданные в Центре космических полетов им. Маршалла NASA в соответствии с соглашением между ИКИ РАН и NASA, заключенным 4 июня 2013 г. Телескоп eROSITA изготовлен в Германии с участием России. Запуск КА «Спектр-РГ» массой 2712 кг успешно осуществлен 13 июля 2019 г. с по-

мощью российской ракеты-носителя «Протон-М», обсерватория 21 октября вышла на рабочую орбиту в точку Лагранжа L2. В проекте заняты 10 научных групп, ряд стран участвует в наземных наблюдениях и получении научной информации. Наземную поддержку наблюдений обеспечивают 10 телескопов. Научный руководитель проекта – академик Р.А. Сюняев, научным руководителем телескопа ART-XC, получившего имя М.Н. Павлинского, стал член-корреспондент РАН А.А. Лутвинов (ИКИ РАН), создатель и первый научный руководитель телескопа eROSITA – доктор Петер Прёдель, с июля 2020 г. научным руководителем является доктор Андреа Мерлони (Институт внеземной физики Общества Макса Планка, ФРГ). Впервые с помощью телескопа ART-XC проведен полный обзор всего неба в диапазоне энергий 4–12 кэВ. К началу 2022 г. были построены четыре из восьми карт всего неба в рентгеновском диапазоне, полная научная программа займет 6.5 года¹⁰.

Третий из серии аппаратов типа «Спектр» – Всемирная космическая обсерватория «Ультрафиолет» («Спектр-УФ») разрабатывается в Институте астрономии РАН. Проект космической обсерватории «Спектр-УФ» был задуман еще в начале 1990 г. академиком А.А. Боярчуком, запуск первоначально намечался на 1997 г., однако технические трудности и отсутствие финансирования не позволили вовремя реализовать этот проект. Такая задержка позволила разработчикам за это время внести ряд усовершенствований

¹⁰ Лутвинов А.А. Телескоп ART-XC им. М.Н. Павлинского обсерватории «Спектр-Рентген-Гамма»; Буренин Р.А. Обзор всего неба в рентгеновском диапазоне; Назаров В.Н. Земные будни космической обсерватории // Земля и Вселенная, 2022, № 4.

и существенно облегчить конструкцию телескопа¹¹. Космический телескоп предназначен для получения изображений и спектроскопии в недоступном для наземных наблюдений ультрафиолетовом участке электромагнитного спектра с целью изучения физико-химических свойств планетных атмосфер и комет, горячих и холодных звезд, свойств пылевых частиц межзвездного и околозвездного вещества. Запуск телескопа перенесен с 2021 г. на 2024 г. в связи с резким сокращением финансирования. В проекте планируется участие России, Испании, Германии, Казахстана и др.

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Эксперименты, начатые в 1975 г. советскими и американскими специалистами, по исследованию растительности и земельных угодий дистанционными методами были продолжены на тестовых полигонах-аналогах в штате Канзас (США) в 1987 и 1989 гг. («FIFE-87 и -89») и в 1991 г. на Курской биосферной станции Института географии АН СССР (Курэкс-91).

В июле 1989 г. в штате Канзас на территории полигона Konza Prairie состоялся второй этап эксперимента «FIFE», который выполнялся в рамках Международного проекта по спутниковой климатологии поверхности суши (ISLSCP) под эгидой ЮНЕП. В них приняли участие 150 ученых стран-участниц эксперимента (США, Англии, Канады, СССР, Франции и др.), 6 самолетов-лабораторий и 5 спутников, которые были задействованы для сбора радиометрических, метеорологических

и биофизических данных на тестовом полигоне размером 15 × 15 км. Наблюдения в эксперименте «FIFE-89» включали: спутниковые данные с ИСЗ «GOES», «NOAA-9, -10 и -11», «Landsat», «SPOT» и «Космос-1939», радиометрические данные с самолетов NASA: C-130, DC-8, ER-2 и вертолета и измерение потоков турбулентности с двух самолетов и 15 наземных станций для измерения влажности почв, тепла и CO₂, а также потоков граничного атмосферного слоя над тестовым участком. В эксперименте принимали участие специалисты Института географии АН СССР, Института водных проблем АН СССР, Института вычислительной математики АН СССР, Совета «Интеркосмос» АН СССР, Института физики АН Белоруссии с большим комплексом аппаратуры для различных наземных измерений, ВНИЦ «АИУС-АГРОРЕСУРСЫ». Руководителем этих работ с советской стороны был профессор В.В. Козодёров из Института вычислительной математики АН СССР. Результаты совместных исследований по эксперименту FIFE-89 были опубликованы в журнале «Геофизические исследования» в 1992 г. с участием российских и американских ученых.

Следующая компания проведения советско-американских аэрокосмических и наземных исследований была организована с 4 по 28 июля 1991 г. на базе Курской биосферной станции Института географии АН СССР на территории Медвенского района Курской области (полигон «Курск»). Исследования выполнялись на трех выбранных участках: биосферный заповедник, опытное хозяйство Института защиты почв от эрозии и колхоз им. С.М. Кирова. Наиболее обширная программа дистанционных исследований была подготовлена специалистами СССР и США с учетом опыта совместных работ в эксперименте FIFE-87 и -89 в США.

¹¹ Боярчук А.А., Шустов Б.М. Всемирная космическая обсерватория // Земля и Вселенная, 2006, № 5; Шустов Б.М., Сачков М.Е. Ультрафиолетовая Вселенная // Земля и Вселенная, 2009, № 6.



Курская биосферная станция Института географии РАН (полигон «Курск»). Фото ИГ РАН

В эксперименте наряду со специалистами NASA принимали участие ученые из ряда университетов штатов Вашингтон, Небраска, Канзас и Мэриленд. В соответствии с научной программой над полигоном проводилась многозональная и тепловая космическая съемка полигона «Курск-91» (30 × 30 км) со спутников «NOAA-9», «Landsat-TM» (США), «SPOT» (Франция), «Космос-1939» и «Алмаз-1» радиолокатором с синтезированной апертурой (СССР). В эксперименте принимали участие три типа самолетов и вертолет Ми-4. Самолет Ту-134СХ (ВНИЦ «АИУС-Агроресурсы») осуществлял измерения с высот 10, 5 и 3 км и был оснащен многоспектральной аппаратурой, работающей в видимой и инфракрасной зонах спектра, аналогичного спутниковым многоспектральным приборам и самолет Ан-30 НПО «Космические исследования» АН Азербайджана, на борту которого был установлен спектрометр «Трассер» высокого спектрального разрешения и белорусский спектрометр «Гемма». Эти же приборы устанавливались на самолете Як-40. Результаты эксперимента были опубликованы

в совместном сборнике трудов по итогам эксперимента «Курск-91» в международном журнале «Remote Sensing» (т. 17, № 1–4) в 1998 г. под редакцией доктора Д. Диринга и профессора В.В. Козодёрова.

По предложению американской стороны в 1991 г. были начаты исследования еще в одном направлении, связанном с изучением состояния бореальных лесов и их влияния на биосферу планеты. С этой целью в 1991 г. на полигонах-аналогах в штате Мэн (США) и в Саянах (Крас-

ноярский край) были организованы совместные российско-американские эксперименты по изучению динамики лесных экосистем и оценке их экологического состояния. Возглавлял эти исследования профессор В.И. Суших из Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов АН СССР. При проведении полевых экспериментов в штате Мэн с 26 мая по 18 июня 1991 г. российскими и американскими специалистами выполнялись наземные и авиационные наблюдения с помощью самолетов ER-2 и C-130, а также с американских и советских спутников «Landsat-TM», «Космос-1939» и «Ресурс-Ф». С 3 по 21 августа 1991 г. эксперимент по изучению бореальных лесов «Саяны-91» был продолжен в Красноярском крае на тестовых полигонах Института леса им. В.Н. Сукачева СО АН СССР с участием большой группы ученых и специалистов СССР и США. Многозональные съемки тестовых участков производились со спутников «Космос-1939», «Ресурс-Ф» и с самолетов Як-40 и Ан-30. Они сопровождались наземными спектральными измерениями с помощью американ-

ской аппаратуры Barnes MMR, белорусского спектрометра «СКИФ» и российского спектрометра «Кварц-4».

ХИМИЯ И ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ

5 августа 1991 г. в рамках программы «Интеркосмос» был запущен КА «Метеор-3/ТОМС» с американской аппаратурой ТОМС на борту для контроля состояния озонового слоя Земли. УФ-спектрометр ТОМС в течение четырех лет регистрировал интенсивность солнечного излучения и излучения, рассеянного от Земли и ее атмосферы. С российской стороны в эксперименте принимали участие специалисты НИИ экспериментальной метеорологии, Центральной аэрологической обсерватории (ЦАО) Росгидромета, Института физики атмосферы им. А.М. Обухова, Физического института им. П.Н. Лебедева, Санкт-Петербургского государственного университета и др., а с американской стороны – специалисты Центра космических полетов им. Р. Годдарда NASA. Следует отметить, что прием научной информации с этого спутника осуществлялся наземными пунктами на полигоне Уоллопс (США) и в Обнинске. Реализация этого проекта позволила в глобальном масштабе наблюдать изменчивость озонового слоя атмосферы. В течение 1991–1995 гг. «Метеор-3/ТОМС» обеспечивал мировое научное сообщество данными об изменениях озонового слоя.

Для продолжения исследований в области физики атмосферы 10 декабря 2001 г. по соглашению между NASA и Росавиакосмосом на коммерческой основе был запущен метеоспутник «Метеор-3М» с американской аппаратурой SAGE-III, предназначенной для определения стратосферных аэрозолей и содержания малых газо-

ИСЗ «Метеор-3М/ТОМС» на околоземной орбите. Рисунок ВНИИЭМ



вых примесей¹². Полет спутника продолжался более 2.5 лет. По соглашению с NASA прием и обработка спутниковой информации осуществлялись в США и России (ЦАО). В порядке подготовки эксперимента на спутнике в рамках этого проекта в 1999–2000 гг. был проведен российско-американский эксперимент SOLVE по изучению истощения озонового слоя и проверке данных получаемой информации с целью усовершенствования алгоритмов восстановления данных. Аппаратура SAGE-III использовалась для определения профилей содержания малых газовых составляющих посредством затенения Солнца и Луны, а также с помощью методов лимбового рассеяния ультрафиолетовой и видимой радиации. В этот период в полярных и средних широтах на территории России были организованы совместные наземные и самолетные исследования стратосферного озона. Одновременно с полигона в Кируне (Швеция) летали самолеты-лаборатории NASA C-130 и ER-2, запускались высотные аэростаты с российской и американской аппаратурой.

Наземные наблюдения за изменчивостью атмосферного состава в тропосфере и стратосфере, а также процессов, вызывающих эти вариации, выполнялись на нескольких российских обсерваториях специалистами Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН (ИФА) и ЦАО Росгидромета. Мобильная лаборатория ИФА, оборудованная в поезде (проект «ТРОЙКА»), осуществляла высокоширотные прямые измерения состава атмосферы, важные для изучения химии тропосферы и оценки качества воздуха. Работы

по сотрудничеству с NASA в этой области многие годы возглавляет академик Г.С. Голицын (ИФА).

МОДУЛЬ «ПРИРОДА» СТАНЦИИ «МИР»

Одно из центральных мест в развитии научно-методических и технических средств ДЗЗ по программе «Интеркосмос» принадлежит созданию комплекса научной аппаратуры общей массой 11.5 т для шестого специализированного модуля «Природа» массой 19 340 кг, запущенного 23 апреля 1996 г., для стыковки с ДОС «Мир»¹³. Работы по созданию этого комплекса были начаты в 1982 г. В реализации проекта «Природа» принимали участие научные организации Болгарии, Германии, Италии, ПНР, Румынии, СССР, США, ЧССР и Франции. Для модуля «Природа» странами-участниками проекта был разработан большой комплекс оптической, радиофизической и квантово-оптической аппаратуры для исследований слоев атмосферы с высокой точностью, надежностью и пространственным разрешением. Такие данные были необходимы для решения многих экологических, природно-ресурсных задач как фундаментального, так и прикладного характера.

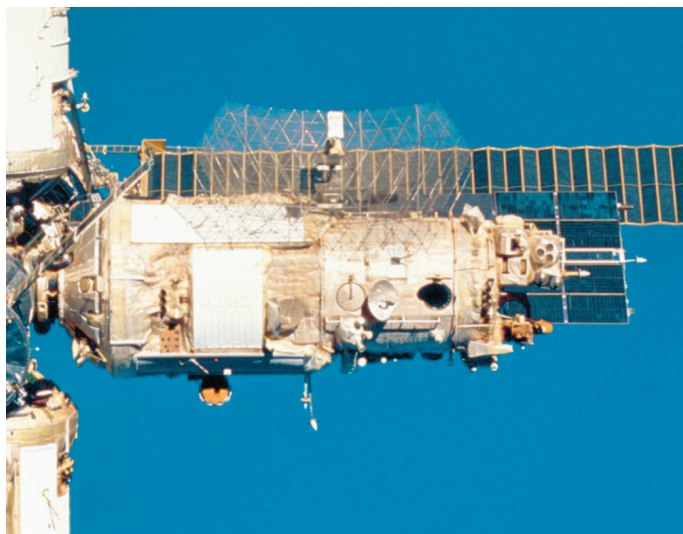
На модуле «Природа» функционировали 18 комплексов целевой аппаратуры ДДЗ: сканирующие устройства МСУ-СК, МСУ-Э, MOMS-2P, радиолокатор «Траверс-1П» и др. Научный модуль «Природа» предназначался для проведения исследований по отработке методов применения ДЗЗ при решении раз-

¹² Ведешин Л.А., Герасютин С.А. Развитие отечественной метеорологической системы (К 60-летию начала разработки метеорологических спутников в СССР) // Земля и Вселенная, 2021, № 5. С. 63–80.

¹³ От «Востока» к «Рассвету»: хроника пилотируемых космических полетов в фотографиях и документах / Авт.-сост. А.Б. Железняков и др. СПб.: ЛИК, 2011; Герасютин С.А. Модуль «Природа» в полете // Земля и Вселенная, 1997, № 3.

Российский модуль «Природа» в составе орбитального комплекса «Мир». Вверху на фоне панели солнечной батареи видна антенна радиолокатора «Траверс-1П».

Снимок из кабины американского КК Endeavour STS-89 во время стыковки со станцией. 24 января 1998 г. Фото NASA

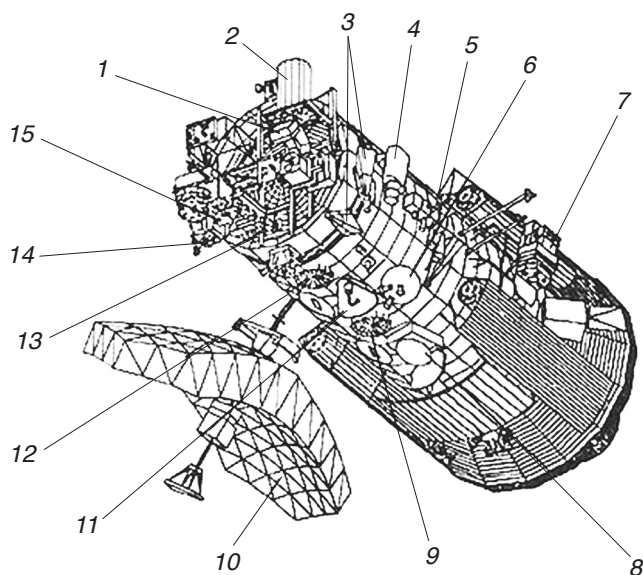


личных глобальных и региональных задач. Аппаратурный комплекс включал в себя приборы активного и пассивного зондирования в широком диапазоне от радио до ультрафиолета. Измерения в оптическом диапазоне выполнялись системой «Исток-1» – 64-канальным спектрометром-полихроматором (3.6–16 мкм), разработанным специалистами СССР, Румынии и Чехии, а также с помощью телевизионной камеры. Спектральные исследования отраженной от Земли солнечной радиации видимого, УФ- и ближнего ИК-диапазона выполнялись 17-канальной спектрометрической системой «МОЗ-Обзор» и «МОМС-2П», разработанной специалистами Германии, советскими приборами – четырехканальным спектрометром «Озон-М» и многозональными сканерами высокого и среднего разрешения МСУ-Э и МСУ-СК, сканирующим Фурье-спектрометром «Допи». Микроволновые измерения проводились с помощью комплекса СВЧ-приборов «Икар», который включал в себя трассовые поляризационные радиометры Р-30, Р-80, Р-135, Р-225П, Р-600 диапазона 0.3–6.0 см, блок сканирующих радиометров «Дельта-2П» и Р-400,

блок панорамных радиометров Р-225 и РП-600, разработанных в ИРЭ РАН им. В.А. Котельникова под руководством профессора Н.А. Арманда. В разработке радиометрического комплекса принимали также участие болгарские специалисты под руководством профессора Д. Мишева. Для радарных измерений использовался радиолокатор бокового обзора с синтезированной апертурой «Траверс-1П» в диапазонах 9.2 и 23 см, французский аэрозольный лидар «Алиса» в диапазоне 0.532 мкм¹⁴.

Для обработки огромных потоков получаемой космической информации в ИРЭ РАН был создан и оборудован с помощью NASA Центр обработки и хранения космической информации с соответствующим каталогом экспериментов, архивом и базой данных, что давало возможность участникам экспериментов на модуле «Природа» иметь открытый доступ к информации. В ходе полета ученые России и США выполнили ряд экспериментов в области космической геодезии, активно сотрудни-

¹⁴ В полете модуль «Природа» // Новости космонавтики, 1996, № 9.



Размещение научной аппаратуры на внешней поверхности модуля «Природа»: 1 – ИК-спектрометр «Исток»; 2 – Фурье-интерферометр «Допи»; 3, 6 – поляризационные радиометры комплекса «Икар»; 4 – интерферометр «Озон-Мир»; 5 – надирные трассовые радиометры; 7 – стереосканер «МОМ5-2П»; 8 – сканирующий радиометр «Дельта-2П»; 9 – лидар «Алиса»; 10 – антенна радиолокатора бокового обзора «Траверс-1П»; 11 – сканирующий радиометр комплекса «Икар»; 12 – спектро радиометр «МОЗ-Обзор»; 13 – антенна радиоловительской связи «SAREX-II»; 14, 15 – многоканальные сканирующие устройства МСУ-СК и МСУ-Э. Рисунок ЦУП, РКК «Энергия» им. С.П. Королёва

чали в разработке и реализации программы изучения земной поверхности. Работы по сотрудничеству с NASA возглавлял заместитель директора ИРЭ РАН им. В.А. Котельникова профессор Н.А. Арманд. В проекте «Природа» были воплощены новейшие разработки стран-участниц программы «Интеркосмос» в области ДЗЗ.

В 2001 г. модуль «Природа» вместе со станцией «Мир» прекратил свое существование в связи с завершением программы и запуском МКС. Несмотря на сравнительно короткую продолжительность функционирования модуля «Природа» и станции «Мир», были получены

весомые научные результаты в различных областях наук о Земле.

17 июня 1992 г. было заключено соглашение между Россией и США о сотрудничестве в исследовании и использовании космического пространства в мирных целях. В рамках этого соглашения предусматривались совместные исследования по мониторингу окружающей среды Земли из космоса, эксперименты в области космической биологии и медицины, обеспечение безопасности космических полетов, изучение возможностей совместной работы в других областях, таких как исследования Марса и Венеры, осуществление полетов станции «Мир» и корабля многоразового использования «Спейс шаттл» с участием российских космонавтов и американских астронавтов.

30 июня 1992 г. для обеспечения выполнения указа президента Российской Федерации от 25 февраля 1992 г. № 185 «О структуре управления космической деятельностью в Российской Федерации» был создан Совет по космосу Российской академии наук (РАН) во главе с президентом РАН академиком Ю.С. Осиповым, его первым заместителем был назначен вице-президент академик В.А. Котельников¹⁵.

¹⁵ Кардашёв Н.С., Дубинский Б.А. Владимир Александрович Котельников // Земля и Вселенная, 2003, № 6; Маров М.Я. Юбилейный Совет по космосу прошел в РАН // Научная Россия, 2019. С. 5.



Академик В.А. Котельников с 1980 по 1991 г. возглавлял Совет «Интеркосмос» АН СССР. Фото РИА «Новости»

В составе Совета была организована секция по международному сотрудничеству, в рамках которой продолжались работы по космическим исследованиям на основе двусторонних соглашений с научными организациями России, США, Германии, Франции, Болгарии, Польши, Казахстана и других стран.

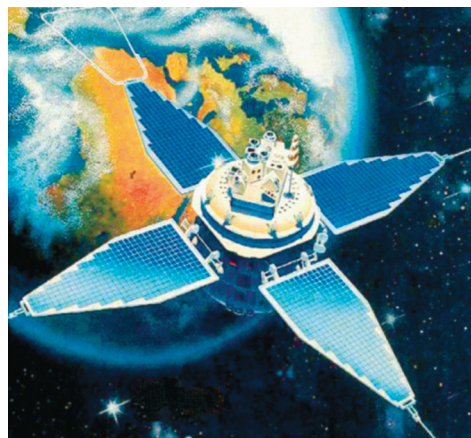
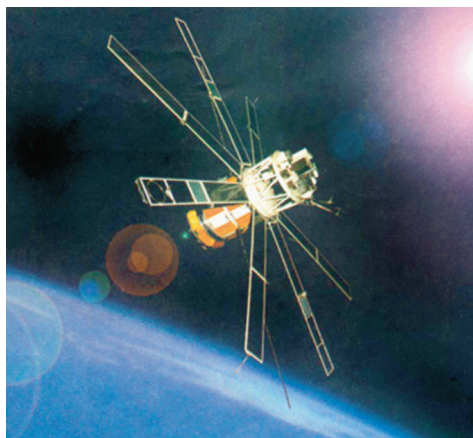
После завершения программы «Интеркосмос» в декабре 1991 г. Россия взяла на себя обязательства по реализации ранее запланированных и продолжавшихся международных проектов – научных спутников по программам АПЭКС («Интеркосмос-25», запущен 18 декабря 1991 г.), КОРОНАС («Коронас-И», 2 марта 1994 г.; «Коронас-Ф», 30 января 2009 г.) и «Интербол» («Прогноз-11», 3 августа 1995 г.;

«Прогноз-12», 29 августа 1996 г.), космических астрофизических обсерваторий «Спектр-Р» («Радиоастрон», 18 июля 2011 г.), «Спектр-Рентген-Гамма» (13 июля 2019 г.) и «Спектр-УФ» (планируется в 2024 г.) и др.

2 марта 1994 г. был запущен международный спутник «Коронас-И» с 12 научными приборами для фундаментальных исследований Солнца и солнечно-земных связей с участием Болгарии, Германии, Польши, России, Словакии, Украины и Чехии. Для продолжения исследований Солнца 21 июля 2001 г. запущен спутник «Коронас-Фотон» с 11 научными приборами, в создании которых участвовали ученые России, Украины, Германии, Польши, Великобритании, Словакии, США, Франции и Чехии¹⁶. В программе «Интербол» для изучения взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой и явлений, возникающих в ионосфере Земли участвовали научные и учебные заведения Австрии, Болгарии, Великобритании, Венгрии, Германии, Италии, Канады, Киргизии, Кубы, Польши, России, Румынии, Словакии, Украины, Финляндии, Франции, Чехии, Швеции.

В апреле 2001 г. в Москве состоялась международная конференция, посвященная 30-летию программы «Интеркосмос». В конференции приняли участие ученые и специалисты Болгарии, Венгрии, Вьетнама, Германии, Польши, России, Словакии, Чехии, Украины, Франции и др., выступившие с докладами по результатам научных экспериментов, были подведены основные итоги многолетнего международного сотрудничества по программе «Интеркосмос» и издан сборник научных трудов.

¹⁶ Кузнецов В.Д. Спутник «Коронас-Ф» наблюдает Солнце вблизи максимума активности // Земля и Вселенная, 2002, № 6.



Научные спутники «Коронас-Фотон» и «Прогноз-11», «Прогноз-12», запущенные по программам КОРОНАС и «Интербол». Рисунки ИКИ РАН

Подводя итоги сотрудничества по программе «Интеркосмос» в 1967–1991 гг., отметим, что в Советском Союзе в тот период было запущено 25 научных спутников серии «Интеркосмос», 12 высотных геофизических ракет типа «Вертикаль», десятки метеорологических ракет МР-1 и М100 с научной аппаратурой стран-участниц¹⁷, состоялось 14 международных пилотируемых полетов с участием космонавтов 9 социалистических стран, Франции, Индии, Сирии, Болгарии и Афганистана на КК «Союз» и ДОС «Салют-6», «Салют-7» и «Мир»¹⁸, были реализованы многочисленные космические проекты и эксперименты, в которых участвовало более 20 стран. В результате сотрудничества с зарубежными странами на совместной основе было разработано более 100 научных приборов и систем

для установки на советские космические аппараты и корабли, автоматические межпланетные и пилотируемые орбитальные станции, геофизические и метеорологические ракеты, которые наша страна предоставляла странам-участницам программы «Интеркосмос» на безвозмездной основе. В результате учеными были получены важные научные и практические результаты в области космической физики, метеорологии, наук о Земле, решении медико-биологических проблем в космосе, исследования Луны и планет Солнечной системы и др., которые были опубликованы в отечественных и зарубежных журналах. Результаты исследований систематически докладывались на сессиях КОСПАР, конгрессах МАФ, других международных конференциях и симпозиумах и получили высокую оценку международной научной общественности.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по теме «Мониторинг», госрегистрация № 122042500031-8.

¹⁷ Ведешин Л.А. Первый по программе «Интеркосмос» (к 50-летию запуска международного спутника «Интеркосмос-1») // Земля и Вселенная, 2019, № 6.

¹⁸ Алексеев В.А., Ерёмченко А.А., Ткачёв А.В. Космическое содружество. 2-е изд. М.: Машиностроение, 1988.

ВЕЛИКИЙ АТТРАКТОР ИНФОРМАЦИИ К 100-летию И.С. Щербиной-Самойловой и 70-летию РЖ «Астрономия»

ШАМАЕВ Владимир Григорьевич,

доктор физико-математических наук

Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова

DOI: 10.7868/50044394822060081

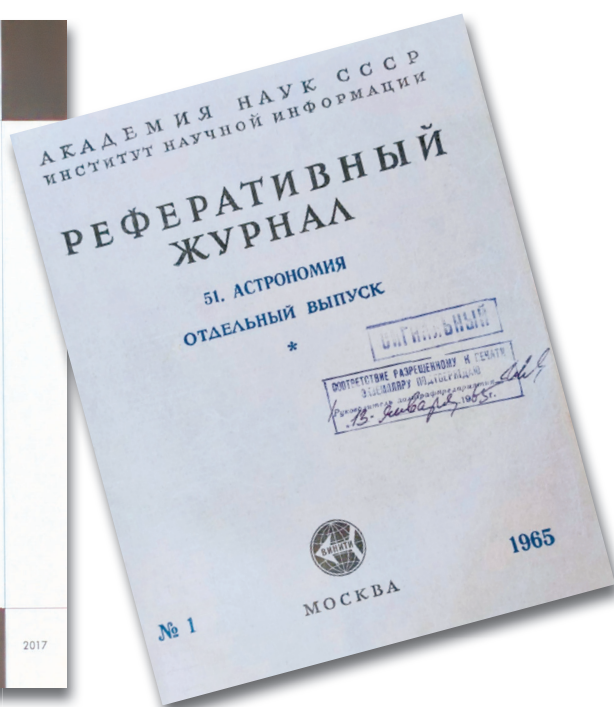
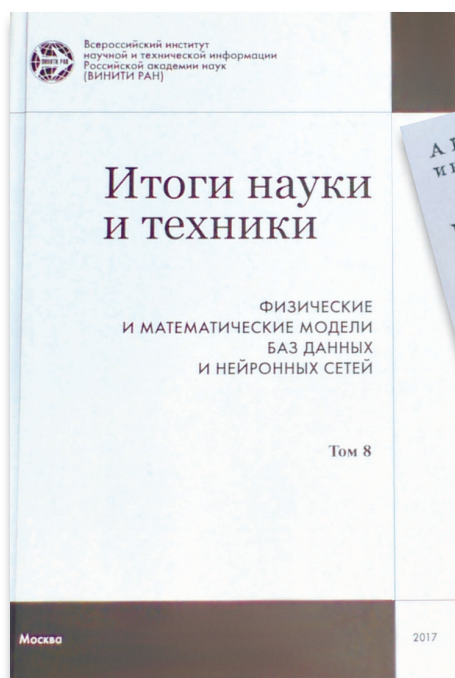
В 2022 г. Всероссийский институт научной и технической информации (ВИНИТИ) отметил свое 70-летие со дня образования (25 июля 1952 г.). Его основная задача, как было заявлено при создании: «систематически информировать научных и инженерно-технических работников промышленности, научно-исследовательских учреждений и высших учебных заведений о новых работах в области науки и техники, публикуемых в СССР и зарубежных странах». Важной функцией ВИНИТИ было издание Реферативного журнала (РЖ) по многим областям науки и техники всей публикуемой научно-технической мировой литературы, состоящего из более чем 200 выпусков. Кроме того, в основные функции института входили научные исследования по совершенствованию методов информационной работы, составление и издание справочной информации и тематических обзоров, размножение журнальных статей по заказам как организаций, так и отдельных пользователей.

Издание РЖ ВИНИТИ сделало доступной для пользователей в любом уголке страны не только русскоязычную, но и зарубежную научно-техническую литературу, слабо представленную даже в крупнейших научных библиотеках нашей страны. Приоритет Советского

Союза в научно-техническом соревновании с США, в частности запуск нашей страной первого в мире ИСЗ, связывался многими учеными с успешной работой ВИНИТИ – уникального на тот момент агрегатора научной информации. Специальные слушания по повышению эффективности научных исследований и научно-технических разработок в связи с этим проводились в Сенате и Палате представителей Конгресса США в 1960 г.

Тираж печатных выпусков РЖ по разным специальностям в 1960–1980 гг. составлял нескольких тысяч экземпляров, и на выпуск РЖ «Астрономия» примерно половину составляли индивидуальные подписчики, а другую половину – организации. К сожалению, с 1993 г. цена подписки стала неразумно высокой, и последний долго державшийся индивидуальный подписчик Г.С. Хромов¹ ушел, тогда же начали уходить и подписчики-организации. Печатный РЖ стал маловостребованным с 1997 г., тогда же ушел и последний зарубежный подписчик – библиотека Стэнфордского университета (США).

¹ Астроном, кандидат физико-математических наук, талантливый астроном-исследователь и организатор науки, вице-президент Всероссийского астрономо-геодезического общества (ВАГО). См.: Шамает В.Г. Гавриил Сергеевич Хромов // Земля и Вселенная, 2015, № 3.



Обложки РЖ «Астрономия» и выпуска «Итоги науки и техники» ВИНТИ

В настоящее время ситуация с информационным обеспечением науки и техники изменилась и спросом пользуются электронные версии научных журналов и их агрегаторы – информационно-поисковые системы. Мировые реферативные журналы, как, например, популярнейший во всем мире Chemical Abstracts, с начала 2010-х гг. стал выходить только в электронной форме, а печатные выпуски РЖ ВИНТИ, хотя и продолжают выходить, но их тиражи составляют 12–15 экземпляров.

В текущем году наступило 70-летие со времени подготовки выпуска РЖ «Астрономия», начавшего новый этап информационного обеспечения астрономии в нашей стране. Обращаясь к истории, подчеркну, что много десятилетий этот выпуск РЖ был единственным окном в получении зарубежной информации в нашей стране, и в это время им руководила Инна Сергеевна Щербина-Самойлова (1922–2003).

Инну Сергеевну Щербину-Самойлову знали все астрономы, планетологи, геодезисты и ученые-исследователи космоса нашей страны, ведь она была заведующей отделом астрономии ВИНТИ с самого начала его работы. Инна Сергеевна была ведущим специалистом СССР и СНГ в области информационного обеспечения науки, создания информационных ресурсов по астрономии, геодезии и исследованию космического пространства.

И.С. Щербина-Самойлова родилась 21 января 1922 г. в семье служащих в г. Москве. В 1940 г. с отличием окончила среднюю школу № 518. В том же году поступила на Механико-математический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова. В мае 1942 г. по комсомольской мобилизации пошла в ряды Красной Армии. После двухмесячных курсов Полевого почтового управления была направлена в действующую армию в органы почтовой связи в за-

нии младшего лейтенанта административной службы. В 1943 г. демобилизовалась в связи с рождением дочери и, конечно же, продолжила учебу в МГУ. В 1947 г. окончила университет по специальности «астрономия».

Известный историк астрономии Алина Иосифовна Еремеева², узнав, что я пишу эту статью, сообщила мне: «Владимир Григорьевич, в материалах к 75-летию Победы мне встретились воспоминания быв. студентки мехмата МГУ 1941–45 гг. Т.С. Галкиной (Черновой), в дальнейшем сотрудницы ГАИШ, а затем КраО³. В 1941–43 гг. она была в пожарной команде из студентов – защитников Москвы при бомбежках. На всякий случай посылаю фрагмент из ее воспоминаний (в сб. “Астрономия на крутых поворотах XX века”. Дубна: Феникс, 1997. 480 с.), хотя, для вас это, возможно, не новость. “Так из нашей команды изъявила желание пойти на фронт Инна Щербина-Самойлова, моя однокурсница, с подругой. Они служили в войсках связи”».

Еще будучи студенткой, Инна Сергеевна начала работать в ГАИШ и продолжила там работать после окончания университета. С 1948 по 1951 г. училась в аспирантуре Механико-математического факультета МГУ, где в то время находилось астрономическое отделение, на кафедре астрофизики у руководителя – профессора Г.Ф. Ситника. В 1952 г. защитила диссертацию на соискание степени кандидата физико-математических наук. С декабря 1951 г. в течение двух лет



И.С. Щербина-Самойлова. Начало 1950-х гг.



Инна Сергеевна во время службы в Красной Армии. 1942 г.

² Астроном, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник ГАИШ МГУ, старейший автор нашего журнала. См.: Земля и Вселенная, 2009, № 5; 2019, № 4.

³ Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ, Крымская астрофизическая обсерватория.

работала лектором-методистом Московского планетария⁴.

В ВИНИТИ начала работать с апреля 1953 г. по совместительству, а с декабря 1953 г. на постоянной основе и работала там до декабря 2000 г., последовательно занимая должности старшего научного сотрудника, заведующего отделом астрономии и геодезии (в течение 22 лет), ведущего научного сотрудника. И, конечно, она оказалась там ко времени, внеся огромный вклад в создание информационного обеспечения для астрономии, геодезии и космических исследований.

И.С. Щербина-Самойлова была не только заведующей отделом, но и заместителем главного редактора Объединенной редколлегии реферативных изданий по астрономии и геодезии ВИНИТИ, ленинградского профессора Кирилла Федоровича Огородникова (в июле 2020 г. отмечен его 120-летний юбилей со дня рождения)⁵. Под ее руководством выходили выпуски журналов «Астрономия», «Геодезия и аэрофотосъемка», «Исследование космического пространства» (с 1964 г.) и «Исследование Земли из космоса» (с 1985 г.). Инна Сергеевна работала в институте почти 50 лет. Когда ее дочка Марина Борисовна Щербина-Самойлова в 2003 г. стала заведующей отделом астрономии, многие думали, что встретились с Инной Сергеевной, которая вдруг сильно помолодела. Как рассказывала ученый секретарь ВИНИТИ Наталья Федоровна Чумакова:

– Иду по коридору и вдруг сталкиваюсь с Щербиной-Самойловой, и думаю, точно она, но какая-то необычная, помолодевшая.

⁴ Рублёва Ф.Б. Московский звездный дом. М.: ПФОП, 2019.

⁵ Осипов Л.П. Кирилл Федорович Огородников (к 100-летию со дня рождения) // Земля и Вселенная, 2001, № 1.

Работой в ВИНИТИ Инна Сергеевна не ограничивалась, ее интересы были гораздо шире. Вместе с Лидией Николаевной Радловой (1913–1999)⁶ она посещала множество астрономических конференций, рассказывая о текущем состоянии РЖ «Астрономия» и другихготавливаемых отделом выпусков. А рассказывать было о чем, журналы постоянно развивались, наращивая качество и свое наполнение, которое к 1990 г. достигло 30 000 документов в год.

В 1970 г. Инна Сергеевна была избрана в члены Международного астрономического союза и неоднократно участвовала в работе его симпозиумов как член Комиссии № 5 (астрономическая документация). И вот еще одна сторона ее деятельности: в 1974 г. И.С. Щербина-Самойлова вошла в члены Центрального комитета по классификации Международной федерации по документации (ЦКК/МФД, международная организация, объединяющая ведущие информационные центры и библиотеки, работающие в области информатики), с 1979 г. она занимала должность вице-президента ЦКК/МФД, а с 1986 г. также входила в Совет по развитию Универсальной десятичной классификации (УДК) и много раз представляла нашу страну на заседаниях этого Совета.

Под умелым руководством Инны Сергеевны выходили не только номера РЖ «Астрономия» и «Геодезия и аэрофотосъемка», по ее предложению были открыты выпуски «Исследование космического пространства» (с 1964 г.) и «Исследование Земли из космоса» (с 1985 г.).

⁶ Астроном, кандидат физико-математических наук, талантливый астроном-исследователь и организатор науки, ведущий специалист в СССР в области астрономии, информатизации науки, популяризации астрономии. См.: Докучаева О.Д., Еремеева А.И., Пономарева Г.А., Шамаев В.Г. Лидия Николаевна Радлова // Земля и Вселенная, 2015, № 2.

Отдельно надо сказать про выпуски «Итогов науки и техники», которые выходили в сериях «Астрономия», «Геодезия и аэро съемка», «Исследование космического пространства» и «Космическое материаловедение», которые, к сожалению, с середины 1990-х гг. перестали выходить из-за резко упавшего финансирования науки. Многие авторы публиковали в них свои монографии с обширным списком цитированной литературы. Всего в 1965–1992 гг. с подачи Инны Сергеевны было опубликовано более ста (!) выпусков «Итогов науки и техники» (115, по данным ВИНТИ РАН) многих сотен авторов. Издания пользовались большой известностью и популярностью. Ученые и специалисты благодарны Инне Сергеевне за предложение выпустить не только свои обзоры, но и монографии. Кто-то сразу после публикации мог спокойно защищать кандидатские, да и докторские диссертации, а немало специалистов получали возможность после выхода «Итогов» издаваться за рубежом.

И.С. Щербиной-Самойловой опубликовано около 70 научных работ. Она была одним из известных редакторов и переводчиков научных и научно-популярных книг по астрономии и исследованию космического пространства.

С редактором переводимых ею книг И.С. Шкловским. Конец 1950-х гг.



Инна Сергеевна с астрономом Всеволодом Васильевичем Шароновым. 1950-е гг.

Среди них – популярнейшая в нашей стране «Элементарная астрономия» О. Струве, Б. Линдса и Э. Пилланса, по которой многих из нас учила в «Курсе общей астрономии» доцент физфака МГУ Наталья Борисовна Григорьева, знаковая фигура для ГАИШ и для всех учившихся в 1960–1970-х гг. на астрономическом отделении уже Физического факультета МГУ. Приведем еще: *Койпер Д.* Атмосферы Земли и планет (под редакцией И.С. Шкловского.





И.С. Щербина-Самойлова в экспедиции по наблюдению полного солнечного затмения. 1961 г.

М.: Иностранная литература, 1958), *Шепли Х. Звезды и люди* (под редакцией Г.И. Наана. М.: Иностранная литература, 1962), *Уиппл Ф. Земля, Луна и планеты* (под редакцией В.И. Мороза. М.: Наука, 1967), *Дольфус О. Планеты и спутники* (перевод И.С. Щербиной-Самойловой и др. М.: Мир, 1974).

Инна Сергеевна была членом КПСС с 1961 г. и вела активную общественную деятельность. В период работы в институте была членом месткома и парткома, зам. председателя комитета Общества советско-чехословацкой дружбы ВИНТИ. В 1954 г. она была выбрана заседателем Народного суда 3-го участка Ленинградского района города Москвы. В 1952–1960 гг. И.С. Щербина-Самойлова была активным лекто-

ром общества «Знание», объездив всю европейскую часть СССР, включая союзные республики. Выступала она не только в организациях, на предприятиях, в учебных заведениях, но и в таких местах, как разбросанные по всей стране ячейки Всероссийского общества глухих (лекции с сурдопереводом) и исправительные колонии. В 1961 г. в должности научного руководителя работала в экспедиции по наблюдению полного солнечного затмения под г. Бузулуком (Оренбургская область), а в 1972 г. – в пос. Оссора (Камчатка).

Инна Сергеевна Щербина-Самойлова награждена орденами Отечественной войны 2-й степени и «Знак Почета», медалями «В память 800-летия Москвы», «За доблестный труд», «Ветеран труда», юбилейными медалями «20 лет Победы в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.», «30 лет Победы в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.», «40 лет Победы в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.», «50 лет Победы в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.», «70 лет Вооруженных Сил СССР» и «Г.К. Жукова», знаками «25 лет победы в Великой Отечественной войне» и «Фронтовик 1941–1945». Она получила благодарность Президиума АН СССР «За активную работу по подготовке и проведению 10-го Международного Астрономического Съезда» (Постановление № 116-2000 от 18 октября 1958 г.), благодарность Государственного комитета Совета Министров СССР по науке и технике и Президиума Академии наук СССР «За активное участие в создании Реферативного журнала и других информационных изданий ВИНТИ» (Постановление № 70/10 от 15 марта 1973 г.) и почетную грамоту Министерства науки и технологий РФ «За многолетний добросовестный труд и в связи с 45-летием выхода в свет первых номеров РЖ ВИНТИ».

Переходя на авторские впечатления, замечу, что, наверное, далеко не все

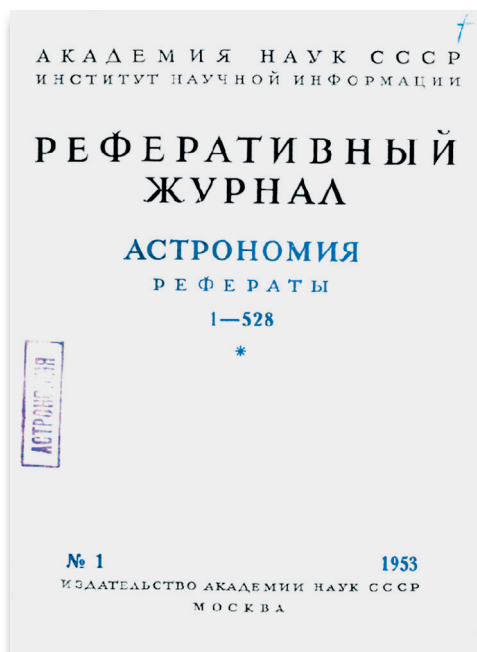
в наш век электронных изданий и баз данных знают о существовавшем когда-то печатном выпуске РЖ «Астрономия» – ностальгически серого цвета обложки. Он издавался по технологии высокой печати, читался легко и давал довольно полную картину состояния науки. Сейчас в Интернете доступны многие журналы, даже те, о которых мы раньше и не подозревали. В астрономических базах данных отображены почти все (!) статьи, пожалуй, начиная с 2000-х гг. Но ностальгию у старшего поколения вызывает старый («тот самый!») журнал нашей юности – наше окно в мировую науку. Так, на 4-м курсе мой научный руководитель Альберт Петрович Гуляев (1927–1998)⁷ привел меня в читальный зал и, показав на полки с выпусками РЖ, сказал: «Ходите сюда каждый месяц, просматривайте новую литературу. Без этого нельзя».

Инна Сергеевна была краеугольным камнем всей информационной работы своего времени в области астрономии, геодезии, исследования космического пространства. Мне скажут, что все это субъективно. Конечно! Но это дорогие для моей памяти люди и вещи. И сам Реферативный журнал, и Инна Сергеевна, и Кирилл Федорович Огородников, и Альберт Петрович Гуляев, и Лидия Николаевна Радлова с Петром Григорьевичем Куликовским и Леонардом Павловичем Пеллиным – все они работали штатно или внештатно в «золотой период» становления и развития ВИНТИ, были его «несущей конструкцией».

Больше не осталось «той» литературы, тех выпусков РЖ. Мы, сотрудники отдела астрономии ВИНТИ 1990–2000-х гг., уже были «этой» литературой, этими выпусками РЖ с белой обложкой и сильно уменьшившемся наполнением!

Занимательна еще одна связь времен и людей, о которой я писал в своей

⁷ Астроном, доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник ГАИШ МГУ. См.: Земля и Вселенная, 1998, № 4.



Обложка выпуска РЖ «Астрономия». ВИНТИ, № 1, 1953 г.

книге⁸, рассказывая об астрономах. Борис Николаевич Пановкин, астроном, так же, как и Инна Сергеевна, выпускник мехмата МГУ, в последние годы жизни работал в ВИНТИ у нее в отделе астрономии. Его гипотезу о невозможности контакта между цивилизациями по каналам связи я вспоминаю в главе «В.Г. Горшков “Существует ли внеземная жизнь во Вселенной?”» своей книги. Много раз я с ним встречался и в отделе астрономии ВИНТИ, и на Ученом совете в ГАИШ, когда проходили интересные ему заседания, и в отделе астрометрии ГАИШ, куда он приходил «поболтать» с Альбертом Петровичем Гуляевым. Инна Сергеевна понимала важность его работы, а Борис Николаевич ценил это отношение к себе и отмечал, что не было у него в жизни лучшего места и лучшего душевного окру-

⁸ Шамаев В.Г. ГАИШ, Астросовет. Фрагменты истории. М.: Астр-космосинформ, 2019.



Коллектив отдела астрономии и геодезии ВИНТИ. В центре сидят: И.С. Щербина-Самойлова и Л.Н. Радлова, стоит 2-я справа А.Н. Седякина, ныне старейший сотрудник отдела астрономии ВИНТИ. 1970-е гг.

жения, чем в 1980-х гг. в отделе астрономии и геодезии ВИНТИ.

По-моему, я нигде еще не писал, что коллектив института на 90% женский, со всеми присущими женскому коллективу сложностями. И, как видите на приведенной фотографии 1970-х гг., в отделе астрономии тогда был всего один мужчина, а Инна Сергеевна проработала в этом коллективе 47 лет и большую часть времени была его руководителем и вместе с Лидией Николаевной Радловой – его стержнем.

Как много вспоминается. Инна Сергеевна была одной из тех, чье обаяние, целеустремленность, работоспособность способствовали развитию нашей науки. Почти до конца жизни, даже оставив заведование отделом, она работала в ВИНТИ, писала и редактировала рефераты, вела свою любимую рубрику «Солнце» в выпуске РЖ «Астрономия», была главным редактором выпуска «Исследование космического пространства». Она всегда знала чего хотела, делала это и заражала этим других. Инна Сергеевна дружила со многими известными астрономами и геодезис-

тами: главными редакторами журнала «Земля и Вселенная» Д.Я. Мартыновым, В.К. Абалакиным и Л.М. Зелёным, бессменно возглавлявшим редакцию с его основания Е.П. Левитаном, авторами статей И.С. Шкловским, В.В. Соболевым, А.А. Боярчуком, В.Л. Гинзбургом, М.С. Зверевым, Р.З. Сагдеевым, Р.А. Сюняевым, Н.С. Кардашёвым, С.А. Капланом, В.В. Подобедом, Л.П. Пеллине-ном, Б.Ю. Левиным, Э.В. Кононовичем, П.Г. Куликовским и многими другими.

Мне не нравятся официозные слова: с ней (с ним) «ушла эпоха», звучащие к месту и не к месту, но, наши читатели, ничего другого в голову не приходит. Я знаю Инну Сергеевну с конца 1970-х гг. Для меня она и выходивший под ее руководством реферативный журнал – эпоха, да еще какая!

Инна Сергеевна ушла от нас в 2003 г., в возрасте 81 год. По нынешним временам, если уж и не вполне молодая, как на приведенной в начале фотографии, то и не очень-то уставшая от жизни. В 2022 г. ей было бы 100 лет. Многие ученые помнят ее и связанный с ней «золотой век» РЖ «Астрономия».

ПАМЯТИ ВАЛЕРИЯ ВЛАДИМИРОВИЧА ПОЛЯКОВА

ГЕРАСЮТИН Сергей Александрович,

Мемориальный музей космонавтики

DOI: 10.7868/50044394822060093

7 сентября 2022 г. на 81-м году жизни скончался 66-й отечественный космонавт, 207-й космонавт мира, врач-космонавт-исследователь, инструктор-космонавт отряда космонавтов ИМБП РАН, доктор медицинских наук, профессор, Герой Советского Союза, Герой Российской Федерации, обладатель абсолютного мирового рекорда по длительности полета в космос (437 суток 18 часов) Валерий Владимирович Поляков¹.

В.В. Поляков родился 27 апреля 1942 г. в Туле в рабочей семье. Отец – Коршунов Иван Андреевич (1922–1967) работал на заводе, воспитанием сына занимались отчим – Поляков Владимир Георгиевич (1921–1976) и мать – Евдокия Федоровна (1920–?), она работала учительницей в средней школе. Вокруг бушевала война, заводы эвакуировали, у Валеры было трудное детство. В Туле он отучился в средней школе № 4, а после выпуска принял решение стать врачом. «Мне тогда было 15 лет, и я вместе с родителями наблюдал за первым в мире искусственным



Врач-космонавт-исследователь, доктор медицинских наук В.В. Поляков. 2000-е гг.

спутником Земли в октябре 1957... Мы в кружке радиолюбителей Дворца пионеров собирали радиоприемники, ловили его сигнал. Но тогда о том, чтобы стать космонавтом, не могло быть и речи...», – вспоминал Валерий Владимирович. Его привлекала именно экстремальная медицина, связанная с высокими рисками и травмами, чтобы как на войне спасать людей. Он отправился в столицу учиться на врача.

¹ Орлов О.И., Кусмауль А.Р., Белаковский М.С. Врач-космонавт Валерий Поляков. К 80-летию юбилею // Воздушно-космическая сфера. 2022, № 1 (110). С. 110–120; Скончался космонавт-рекордсмен Валерий Поляков // Госкорпорация «Роскосмос» 19 сентября 2022 г.: <https://www.roscosmos.ru/38258/>; 75-летие В.В. Полякова // ИМБП РАН: <http://www.imbp.ru/WebPages/WIN1251/News/2017/Polyakov75.html>



Б.Б. Егоров в период подготовки к полету на КК «Восход» в ИМБП, 1964 г. Фото ИМБП

В 1958 г. Валерий поступил в 1-й Московский медицинский институт им. И.М. Сеченова, в 1965 г. его окончил и получил диплом врача. С сентября 1965 г. по июнь 1966 г. он продолжил учебу в клинической ординатуре Института медицинской паразитологии и тропической медицины им. Е.И. Марциновского. Прошел год, прежде чем Валерий понял, что карьера врача не подходит ему, он ушел во Всесоюзный НИИ социальной гигиены и организации здравоохранения им. Н.А. Семашко, не став защищать диссертацию. Там он проработал до июля 1967 г. и дослужился до старшего референта. Следующие четыре года трудился в Главном управлении космической медицины при Министерстве здравоохранения

СССР на должности старшего инспектора. Денег его молодой семье не хватало, поэтому он подрабатывал врачом неотложной скорой помощи.

В.В. Поляков рассказывал, что он стал мечтать о полете в космос и работе в области космической медицины не только после полета Юрия Гагарина, но и врача-космонавта Б.Б. Егорова на корабле «Восход», который выступил в 1965 г. в 1-м Московском медицинском институте и приглашал студентов-медиков в Институт медико-биологических проблем Минздрава СССР (ныне – ИМБП РАН) развивать отечественную космическую биологию и медицину. Еще одна причина была связана с проведением с ноября 1967 г. по ноябрь 1968 г. медико-технического эксперимента полета на Марс в наземном комплексе ИМБП. Испытывались система жизнеобеспечения и оценивалась возможность обитаемости в замкнутом помещении с изоляцией трех испытателей². Вдохновившись, уже в 1969 г. Валерий Владимирович подал заявку на вступление в отряд космонавтов и был направлен на прохождение медкомиссии, 8 июля 1970 г. был признан годным к спецподготовке. В октябре 1971 г. по рекомендации одного из основателей отечественной космической медицины профессора Н.Н. Гуровского поступает в аспирантуру ИМБП и до конца жизни связывает свою жизнь с космической медициной.

«Три года пришлось ждать до 1972 г., когда Государственная межведомственная комиссия уже окончательно приняла нас с Георгием Мачинским и Львом Смирненным, – рассказывал Валерий Поляков, – хотя до этого мы занимались и общей космической подготовкой, и специальной медицинской, и тренировками к космическим

² Божко А.Н., Городинская В.С. Год в «Звездолете. М.: Молодая гвардия, 1975.

полетам». Опыт работы в экстремальных условиях и участие в испытаниях в ИМБП сыграли свою роль при его поступлении в космонавты, и 22 марта 1972 г. В.В. Поляков зачисляются в первую группу отряда космонавтов ИМБП (в составе первого набора). Однако ожидание первого полета затянулось более чем на 15 лет. Все это время он проходил сложнейшие предполетные тренировки, клиническую подготовку на базе ведущих медицинских учреждений г. Москвы. Участвуя в медицинских исследованиях, моделирующих эффекты невесомости, он получил ценный опыт. Обязывало положение – в космос он должен был отправиться в качестве врача, которому в условиях полной автономии предстояло не только проводить исследования, но и заботиться о здоровье всех членов экипажа, врач-космонавт освоил все виды неотложной помощи в космосе: хирургию, терапию, лечение травм и ожогов, микрохирургию, реанимацию. В октябре 1974 г. он заканчивает аспирантуру ИМБП, работает в должности младшего, а затем старшего научного сотрудника в различных лабораториях института, 30 января 1976 г. защищает диссертацию на соискание степени кандидата медицинских наук.

До 1980 г. Валерий Владимирович остается кандидатом в космонавты-исследователи ИМБП, в эту группу вошли другие сотрудники института: врачи Г.В. Мачинский и инженер Л.Н. Смирный. В 1976–1977 гг. в ИМБП проходил медицинский отбор кандидатов в космонавты, было отобрано еще 8 человек. 21 июля 1978 г. группа кандидатов в космонавты ИМБП была преоб-



Валерий Поляков во время подготовки к полетам. Справа у кабины центрифуги инструктор-космонавт-испытатель Валентин Лебедев. ЦПК им. Ю.А. Гагарина, 1979 г. Фото ЦПК

разована в отряд, ставший самостоятельным подразделением института, в него вошли: В.В. Поляков, Л.Н. Смирный, Г.С. Арзамазов, А.В. Бородин и М.Г. Потапов.

С октября 1978 г. по декабрь 1979 г. Валерий Поляков прошел общую космическую подготовку в ЦПК им. Ю.А. Гагарина, после чего был включен в первый (основной) экипаж КК «Союз Т-3» – В.Г. Лазарев, Г.М. Стрекалов и В.В. Поляков, испытательный полет которого одновременно с проведением медицинских исследований и экспериментов планировался в конце 1980 г. В таком составе экипаж проходил подготовку до июня 1980 г., когда из-за возникшей необходимости ремонта системы терморегулирования орбитальной станции «Салют-6» полет «Союза Т-3» с медицинской программой было решено отложить, и В.В. Поляков вернулся к своей прежней работе в ИМБП. Вместо этого послали на станцию экипаж космонавтов-ремонтников, поэтому 27 ноября 1980 г. во время старта КК «Союз Т-3» он остался только дублером космонавта-исследователя



Тренировки в ЦПК им. Ю.А. Гагарина на тренажере станции «Мир»: В.П. Савиных, В.В. Поляков, В.В. Васютин, Абдул Моманд (Афганистан), Г.М. Гречко и А.Н. Березовой. Звездный городок, 1984 г. Фото ЦПК



Г.С. Арзамазов и В.В. Поляков на тренировках в макете орбитальной станции «Мир». ЦПК им. Ю.А. Гагарина, 1987 г. Фото ЦПК

основного экипажа. В 1980–1989 г. возглавлял отряд врачей-космонавтов-исследователей ИМБП.

В июне 1983 г. Валерию Владимировичу вновь улыбнулась удача – он на-

чал готовиться уже на орбитальную станцию «Салют-7» в составе группы вместе с врачом Всесоюзного кардиологического научного центра О.Ю. Атьковым, но остался в дублирующем экипаже КК «Союз Т-10». Затем до 30 января 1984 г. прошел подготовку по программе длительного полета космонавта-врача в составе второго экипажа основной экспедиции (ЭО-3) вместе с В.В. Васютиным и В.П. Савиных, но этот полет сорвался из-за того, что надо было реанимировать аварийную «Салют-7». Для этого послали на нее экипаж спасения В.А. Джанибекова и В.П. Савиных на КК «Союз Т-13».

Пройдя столь длительную подготовку к нескольким полетам, В.В. Поляков был уверен в том, что сможет выполнить длительную экспедицию на запущенную в 1986 г. орбитальную станцию «Мир». В августе–ноябре 1987 г. прошли подготовку в ЦПК им. Ю.А. Гагарина три врача-космонавта из отряда ИМБП: В.В. Поляков, Г.С. Арзамазов и А.В. Бородин. Кто-то из них должен был стартовать в апреле 1988 г. с экипажем ЭО-5, а затем работать с экипажами ЭО-6 и ЭО-7, но

планы поменялись, поэтому с февраля 1988 г. по август 1988 г. он прошел подготовку в качестве космонавта-исследователя экипажа экспедиции посещения (ЭП-3) по международной программе



Основной и дублирующий экипажи КК «Союз ТМ-6»: В.В. Поляков, В.А. Ляхов, Абдул Моманд и Мухаммед Дауран (Афганистан), А.Н. Березовой, Г.С. Арзамазов. ЦПК им. Ю.А. Гагарина, 1988 г. Фото ЦПК

«Интеркосмос» вместе с В.А. Ляховым и Абдул Ахад Момандом (Афганистан). Ему предстояло изучить в космосе физиологическое состояние экипажа ЭП-3 во время работы на станции «Мир», которое помогло бы в разработке новых методик медицинского обеспечения продолжительных полетов. В экспериментальных программах, помимо прибывшего состава, участвовали и другие космонавты, находившиеся в это время на «Мире».

Первый и долгожданный полет В.В. Поляков выполнил с 29 августа 1988 г. по 27 апреля 1989 г. на ОК «Мир», он стартовал на КК «Союз ТМ-6» с В.А. Ляховым и Абдул Ахад Момандом (Афганистан), а совершил посадку на «Союзе ТМ-7» с А.А. Волковым и С.К. Крикалёвым. За 240 суток 23 часа 35 минут работы по программам ЭО-5, ЭО-6 и ЭО-7 на околоземной орбите ему удалось отработать новые методы и средства профилактики медицинского

обеспечения длительных космических экспедиций. Он провел внушительное количество медицинских исследований по нескольким направлениям: адаптации функциональных систем своего организма и членов экипажей к условиям невесомости, врачебное обеспечение медицинского контроля состояния здоровья экипажей ЭП-3 и ЭП-4, при окончании годового полета космонавтов В.Г. Титова и М.Х. Манарова, а также французского астронавта Жан-Лу Кретьена, совершившего краткосрочный полет по национальной программе «Арагац»³.

В октябре 1989 г. Валерий Владимирович был назначен на должность заместителя директора ИМБП, а командиром отряда космонавтов стал Г.С. Арзамазов. С 1989 г. после пере-

³ Мировая пилотируемая космонавтика. История, техника, люди. Энциклопедия / Под ред. Ю.М. Батурина. М.: РТ-Софт, 2005. С. 461–464.



*Реабилитация после первого полета.
ЦПК им. Ю.А. Гагарина. Звездный городок,
1989 г. Фото ЦПК*

вода вместе с отделом гипербарической физиологии из ИМБП в Институт океанологии им. П.П. Ширшова АН СССР он продолжил исследования проблем физиологии дыхания и кровообращения. В лаборатории «Биохимия питания» он занимался темой «Вопросы пищевого состава и энергетической ценности питания в условиях нахождения на орбите». Как опытный врач-космонавт и успешный администратор, с августа 1990 г. он возглавил оперативное медицинское обеспечение космических полетов на ОК «Мир», став заместителем руководителя полетов в ЦПК.

В 1990 г. В.В. Поляков в качестве акванавта и исследователя участвовал в российско-американском экспери-

менте, который проходил в подводной лаборатории Фонда освоения морских ресурсов США. Ходил на Тянь-Шань, занимался вопросами выживания.

Валерий Поляков был уверен в том, что после столь длительной экспедиции в космос полет на Марс займет около двух лет, и его можно будет выполнить без особых технических решений – только за счет внутренних резервов натренированного человеческого организма. Как настоящий врач он предложил испытать на себе возможность пребывания на орбите такой длительности. Более того, американские астронавты, окрыленные началом сотрудничества по программе «Мир – NASA», в 1994 г. ожидали участие в рекордном по длительности полете на свою будущую станцию «Фридом». Тогда планировалось на основе сотрудничества с Россией совершить 13-месячный полет на ее борту. Об этом стало известно Валерию Владимировичу, после чего он напрямую обратился к генеральному конструктору НПО «Энергия» Ю.П. Семёнову: «Юрий Павлович, ведь совершенно ясно, если обскачут, то уже не догоним, и нужно что-то предпринимать уже сейчас. Перед вами человек, который готов полететь на полтора-два года и доказать на себе, что мечту Королёва о полете на Марс можно осуществить, с медицинской, физической и психологической точек зрения. Есть проработанное, по науке обоснованное предложение: провести всевозможные исследования и проверить реакцию организма на длительную невесомость. Я готов». Врач-космонавт тогда заверил Семёнова, что в экспедиции можно будет отработать методики длительного полета. Самое важное – он лично, как бортовой врач, мог оказать поддержку космонавтам, совершающим полугодовые полеты. Его квалификация и опыт врача широкого профиля позволяли оказывать практически любую

медицинскую помощь, используя бортовые медицинские средства. «Медицинское обеспечение экипажей будет более эффективным, потому что врач будет рядом, на борту. Экспедиции будут меняться, а я буду оставаться», – настаивал он. И его предложение о 1.5-годовой экспедиции на ОК «Мир» нашло отклик в руководстве отрасли у гендиректора Российского космического агентства Ю.Н. Коптева.

В течение 1993 г. В.В. Поляков прошел подготовку к 1.5-годовому полету в ЦПК им. Ю.А. Гагарина в составе группы космонавтов вместе с врачами-космонавтами ИМБП Г.С. Арзамазовым и Б.В. Моруковым, а также к полету на ОК «Мир» в составе ЭО-15, -16 и -17 в качестве космонавта-исследователя (врача) основного экипажа вместе с В.М. Афанасьевым и Ю.В. Усачёвым. Предусматривалось выполнение исследований по следующим направлениям: сердечно-сосудистая система, биохимические и иммунные, нейросенсорные и психофизиологические исследования. Участие врача-космонавта предполагалось не только в научной национальной программе, но и в международных проектах Австрии, Германии, Франции, США. Важное место отводилось исследованиям с участием женщины-космонавта.

С 8 января 1994 г. по 22 марта 1995 г. Валерий Владимирович осуществил свой второй и самый длительный (437 суток 17 часов 58 минут) полет в истории на ОК «Мир», что является абсолютным рекордом длительности работы в космосе за один полет, и он внесен в Книгу рекордов Гиннесса⁴. До сих



*Экипаж КК «Союз ТМ-18» перед стартом:
В.В. Поляков, Ю.В. Усачёв, В.М. Афанасьев.
Космодром Байконур, 8 января 1994 г.
Фото Роскосмос*

пор ни один космонавт не сумел превзойти этот результат! Своими достижениями врач-космонавт доказал, что человеческий организм способен вынести нагрузки и на околоземной орбите, а также заложил основу для разработки системы медико-биологического обеспечения межпланетных полетов. Он стартовал на КК «Союз ТМ-18», командир экипажа – В.М. Афанасьев, бортинженер – Ю.В. Усачёв. В.В. Поляков выполнял работы на завершающем этапе ЭО-14 (В.В. Циблиев и А.А. Серебров), в 179-суточном полете ЭО-15 (В.М. Афанасьев и Ю.В. Усачёв), в 125-суточном ЭО-16 (Ю.И. Маленченко и Т.М. Мусабиев), в 169-суточном ЭО-17 (А.С. Викторенко и Е.В. Кондакова), а также во время месячного полета астронавта Европейского космического агентства У.Д. Мербольда (ФРГ). Последние дни своего пребывания в космосе он находился на орбите совместно с экипажем ЭО-18 (В.Н. Дежуров, Г.М. Стрекалов и Н. Тагард, США). В.В. Поляков совершил посадку на КК «Союз ТМ-20» вместе с А.С. Викторенко и Е.В. Кондаковой.

⁴ Мировая пилотируемая космонавтика. История, техника, люди. Энциклопедия / Под ред. Ю.М. Батурина. М.: РТ-Софт, 2005. С. 487–492;

Полтавец Г.А. Полет станции «Мир» продолжается (1-е полугодие 1995 г.) // Земля и Вселенная, 1995, № 5.



В.В. Поляков на борту ОК «Мир» во время выполнения медицинских исследований.
Справа – обследует немецкого астронавта Ульфа Мербольда (ESA). Октябрь 1994 г.
Фото Роскосмос

Суммарная продолжительность его двух орбитальных полетов составила 678 суток 17 часов 34 минуты.

Врач-космонавт принимал активное участие в разработке научной программы экспедиции с использованием уникальных комплексов медицинской бортовой аппаратуры, уделяя особое внимание экспериментам, направленным на стабилизацию здоровья и работоспособности экипажей в длительном полете, совершенствование системы профилактики. За время полета он получил колоссальный опыт, наблюдая и анализируя процесс адаптации к невесомости коллег, вел всесторонние наблюдения и проводил эксперименты, отслеживая психофизиологическое состояние экипажей, изменения иммунной системы, активность головного мозга. Им было выполнено около тысячи экспериментов по программе медицинского контроля и наблюдения (321), научные медико-биологические (629), иммунологические, гематологические, биохимические (140), антропометрические (102), санитарно-гигиенические (27), сердечно-сосудистой (269)

и двигательной систем, психоневрологические исследования (255). Например, он исполнил эксперимент «Микровиб» по исследованию свойств кожи и мышц методом микровибраций, а в самом конце экспедиции – «Гомеостаз» по исследованию ритмики гормональной функции надпочечников и «Диурез» – по изучению механизма регуляции водно-солевого обмена. Получены принципиально новые данные о функциональной активности лимфоцитов человека в длительном полете, изменении гематологических показателей⁵, состоянии жидких сред организма, динамике нервно-психических процессов и психической работоспособности, биоритмологической активности и метаболизма организма⁶,

⁵ Поляков В.В., Иванова С.М., Носков В.Б. и др. Гематологические исследования в условиях длительных космических полетов // Авиакосмическая и экологическая медицина. 1998. № 2. С. 9–18.

⁶ Поляков В.В., Носков В.Б. Метаболические исследования в 438-суточном космическом полёте // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2005. Т. 39. № 3. С. 9–13.

расширены исследования сердечно-сосудистой и дыхательной систем. Кроме того, им была выполнена большая программа по совершенствованию системы стабилизации здоровья и работоспособности космонавтов в длительном космическом полете, отработаны новые методы и средства профилактики неблагоприятного воздействия невесомости на организм человека. Благодаря его работе была расширена штатная бортовая система профилактических тренировок, были введены вестибулярные тренировки при подготовке к возвращению на Землю. Сразу после приземления он мог двигаться и даже стоял на ногах, общаясь с коллегами, благодаря использованию в полете эффективной системы профилактики⁷.

«Мне удалось выполнить много экспериментов по международным программам: ...используя австрийскую аппаратуру я вел исследования по нейрофизиологии вестибулярных расстройств, на немецкой проведены эксперименты по изучению психофизиологии деятельности и сна... по программе российско-французского сотрудничества... шла работа на эхографе... контролировались сердце и сосудистая система... реакция сосудов на нагрузки... Накопилась большая статистика результатов по динамике процессов, происходящих в организме во время полета... Кроме работы удавалось читать книги, слушать музыку и смотреть хорошие фильмы... Помогали отдыху беседы с близкими людьми во время телесансов связи... Одним из главных итогов моего длительного пребывания на орбите стала быстрая



На Земле после возвращения из своего рекордно длительного полета. Казахстан, 22 марта 1995 г. Фото Роскосмос

реадаптация к земной тяжести», – ответил в интервью В.В. Поляков⁸.

Самый главный эксперимент Валерий Поляков осуществил на себе – он исследовал собственный организм. По его мнению, летать можно очень долго (вплоть до предела по облучению), но главное при этом не давать организму полностью адаптироваться к невесомости. «Я сопротивлялся невесомости со всей пролетарской ненавистью. Поэтому вернулся в очень хорошей форме. На своих ногах вышел из спускаемого аппарата, отстранил поисковиков-спасателей, даже врачей, чтобы доказать практически безграничные возможности человеческого организма. А логика такая: человек на Марсе в скафандре будет весить столько, сколько на Земле без него... тем самым докажу, что на поверхности Марса я тоже был бы

⁷ Газенко О.Г., Григорьев А.И., Егоров А.Д. От 108 минут до 438 суток и далее... (к 40-летию полета Ю.А. Гагарина) // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2001. Т. 35. № 2. С. 58–63.

⁸ Длительные полеты человека в космос (интервью с В.В. Поляковым) // Земля и Вселенная, 1998, № 4. С. 30–35.



Во проведения медицинского эксперимента по изучению вестибулярного аппарата испытуемого. ИМБП РАН, 1997 г. Фото ИМБП

дееспособен», – вспоминал он свой рекордный полет.

В итоге В.В. Поляков пришел к мнению, что чем космический полет продолжительней, тем больше вероятность ситуаций, требующих квалифицированной медицинской помощи, поэтому в составе экипажа обязательно должен быть врач. Полученные результаты являются предпосылкой для увеличения продолжительности пребывания человека на орбите Земли и могут быть положены в основу создания системы медицинского обеспечения полетов в дальний космос⁹.

Валерий Владимирович 1 июня 1995 г. ушел из отряда космонавтов ИМБП в связи с выходом на пенсию. С 1995 г. он был заместителем председателя Главной медицинской комиссии по

освидетельствованию космонавтов от Министерства здравоохранения РФ.

После самого длительного в истории полета В.В. Поляков, продолжая работать заместителем директора ИМБП по науке, курировал вопросы медицинского обеспечения космических полетов и разработки медико-биологических аспектов полета на Марс, принимал активное участие в развитии международного сотрудничества в области космической медицины. В 1998 г. он защитил докторскую диссертацию, в 1999 г. ему было присвоено ученое звание профессора. Его опыт и исследования внесли неоце-

нимый вклад в развитие мировой космической медицины¹⁰.

В.В. Поляков участвовал в международном научном эксперименте SFINCSS в качестве командира ЭП-2, проводившегося в ИМБП с 11 по 18 февраля 2000 г., что сыграло важную роль, так как позволило оценить эффективность такой модели космического полета со стороны человека, имеющего реальный опыт. Эксперты космических агентств России, Канады, Японии, Европы и сотрудники университетов США имитировали на Земле полет международного экипажа, чтобы исследовать их взаимодействие в непривычных условиях.

Большое внимание Валерий Владимирович уделял подготовке моло-

⁹ Орлов О.И., Котов О.В., Куссмауль А.Р., Белаковский М.С. Роль врача в дальнем космическом полете // Воздушно-космическая сфера. 2020. № 1. С. 36–49.

¹⁰ Орлов О.И., Белаковский М.С., Пономарёва И.П. Вклад врача-космонавта-исследователя В.В. Полякова в космическую медицину (к 75-летию со дня рождения) // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2017. Т. 51. № 2. С. 5–13.

дых кадров, читал лекции для аспирантов в ИМБП РАН, активно работал со студентами. Его лекции были одними из самых интересных событий курса, поскольку сопровождались подтверждениями и личными впечатлениями из реальных космических полетов. Он автор и соавтор более 50 публикаций в отечественных и зарубежных изданиях, посвященных проблемам космической биологии и медицины, вопросам медицинского обеспечения полетов в космос, а также результатам научных исследований и экспериментов, полученных в длительных космических полетах.

«Несколько печально то, что мы должны были бы лететь на Марс в 2014 году, – признался Валерий Поляков 14 августа 2011 г. во время наземного эксперимента «Марс-500». – Но мой и ваш опыт будет полезен». Космонавт признавался, что продолжал мечтать о космическом путешествии, так как осталось и на Земле немало мест, в которых он хотел бы побывать. Но из-за преклонного возраста осуществить их не получилось. Последние годы он жил в Туле.

В.В. Поляков – член Международной ассоциации исследователей космоса, действительный член Международной академии astronautики, вице-президент Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского, лауреат премии принца Астурийского (Испания, 1999), лауреат премии Хубертуса Штругольда (Ассоциация аэрокосмической медицины США). Он награжден Золотыми медалями Героя Советского Союза (1989) и Героя Российской Федерации (1995), Орденом Ленина, медалью «За заслуги в освоении космоса» (2011), медалями и дипломами Росавиакосмоса, Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского, Российской федерации космонавтики и Российского фонда культуры, удостоен звания Герой Республики Афганистан (1988),



Профессор В.В. Поляков около главного корпуса ИМБП РАН. 2002 г.

кавалер зарубежных орденов: «Солнце Свободы» (Афганистан, 1988), Почетного Легиона (Франция, 1989) и «Парасат» (Казахстан, 1996). Лауреат национальной премии «Во славу Отечества» в номинации «Слава России» (2008), учрежденной Международной академией общественных наук и Международной академией меценатства, удостоен ордена «Во славу Отечества» II степени (2008).

Личную жизнь космонавт связал с Нелей Федоровной, супруга ученого состояла на медицинской службе, трудилась врачом-невропатологом, работала заведующей неврологическим отделением Клиники нервных болезней 1-го Московского медицинского института им. И.М. Сеченова. В 1965 г. у супругов родилась дочь Елена. Наследница пошла по стопам родителей и оказалась в медицинской среде. Елена Валерьевна Смиренная получила профессию врача-офтальмолога, она доктор медицинских наук. Валерий Владимирович был счастливым отцом и дедушкой двух внуков.

Указатель статей и заметок, опубликованных в журнале «Земля и Вселенная» в 2022 году

АРЕФЬЕВ В.А., МОЛЬКОВ С.А., ЛУТОВИНОВ А.А. От теории нейтронных звезд к решению практических задач космической навигации	4
БАЗИЛЕВСКИЙ А.Т. Косматые пришельцы	5
БРЕУС Т.К., КОТОВА Г.А. История открытия магнитного поля у Марса	3
БУРЕНИН Р.А. Обзор всего неба в рентгеновском диапазоне	4
ГИРИНА О.А., ЛУПЯН Е.А., СОРОКИН А.А., КРАМАРЕВА Л.С. Вулканы и космос	5
КИСЛОВ Р.А. Солнечный ветер и токовые слои: классические представления и новые открытия	1
КОНОНОВ Д.А. Точка приобретает форму, или как работает доплеровская томография	6
ЛУТОВИНОВ А.А. Телескоп ART-XC им. М.Н. Павлинского обсерватории «Спектр-Рентген-Гамма»	4
МЕРЕМИНСКИЙ И.А. Новые сильнопеременные рентгеновские источники в обзоре всего неба телескопа ART-XC им. М.Н. Павлинского	4
НАЗАРОВ В.Н. Земные будни космической обсерватории	4
НАКАРЯКОВ В.М., ЗИМОВЕЦ И.В., АНФИНОГЕНТОВ С.А. Плазменная симфония, или Магнитогидродинамические волны в короне Солнца	1
НИКОНОВ А.С. Самый большой глаз во Вселенной	6
ТАРАСОВ Н.Т. Солнечная активность, космическая погода и землетрясения	1
ФЛЕЙШМАН Г.Д. Загадки знакомого Солнца	3
ХАБАРОВА О.В. Зачем Солнцу надо магнитное торнадо?	1
ЦУПКО О.Ю. Тени черных дыр: поиск черной кошки в темном космосе	6
ШЕВЧЕНКО В.В. Загадка первых 500 миллионов лет Луны	2
ЭЙСМОНТ Н.А. Существует ли Девятая планета?	2
Гипотезы, дискуссии, предложения	
АВАНЕСОВ Г.А., МИХАЙЛОВ М.В. Космические и антропогенные факторы в формировании климата Земли	3
ГЕРАСЮТИН С.А. Почему сегодня невозможна марсианская экспедиция	5
Космонавтика XXI века	
АБАШИДЗЕ А.Х., ЧЕРНЫХ И.А. Что такое международное космическое право и для чего оно нужно	5
ЛИСОВ И.А. «Тяньвэнь-3» доставит грунт с Марса	4
ЛИСОВ И.А. «Куафу» гонится за Солнцем	6
ШУСТОВ Б.М. Космические или наземные?	1
У ЦЗИ Что может измениться после начала космической эры?	4
Образование	
ГОЛОВАНОВА А.В., МАГАРЯН К.А., НАУМОВ А.В. Вторая Викторина юных физиков Отделения физических наук РАН	2, 3
Космическое образование	
ЛЕМЕЩЕНКО С.А. Летняя Космическая Школа – среда для научной коммуникации и гражданской науки	5
ЛОМАКИН А.А. Секция астрофизики и геофизики на Летней Космической Школе	5

БЕЛОУСОВА М.Д., ГАСАНОВ А.А., ПРОСКУРЯКОВА Е.М. Применение VR-технологий в образовательных задачах на примере создания симулятора добычи, обработки и анализа ледяного керна	5
Любительская астрономия	
КАЗАКОВ Е.В. Средневековые созвездия: в поисках забытых смыслов	4
СОЛОМОНОВ Ю.В. Звезды, достойные памятника	2
Обсерватории, институты	
ГРЕБЕНЕВ С.А., СЮНЯЕВ Р.А. Обсерватория ИНТЕГРАЛ: 20 лет наблюдений и открытий	6
КИЯЕВА О.В., ИЗМАЙЛОВ И.С., СОБОЛЕВА Т.В., ШАХТ Н.А. Пулковская обсерватория – вокруг рефрактора	1
In memoriam	
Владимир Степанович Губарев (26.08.1938–25.01.2022)	2
САЖИН М.В., САЖИНА О.С. Валерий Анатольевич Рубаков: памяти коллеги и друга	6
Люди науки	
ГЕРАСЮТИН С.А. Памяти Валерия Викторовича Рюмина	4
ГЕРАСЮТИН С.А. Памяти Валерия Владимировича Полякова	6
ГУРФИНКЕЛЬ Ю.И. Я вечно к вам иду... (К 125-летию А.Л. Чижевского)	1
КОРОСТЕЛЕВ С.Г. Парад планет Леонида Ксанфомалити. К 90-летию со дня рождения	2, 3
ШАМАЕВ В.Г. Великий аттрактор информации. К столетнему юбилею Инны Сергеевны Щербиной-Самойловой (1922–2003)	6
История науки	
ЗЕЛЁНЫЙ Л.М. М.В. Ломоносов. У истоков исследования планетных атмосфер и философии русского космизма	3
ИОГАНСОН Л.И. Самая читаемая после Библии книга в Германии XIX века. Первый и второй том «Космоса» Александра фон Гумбольдта	2
КУЗЬМИН А.В. Космос Архимеда	5
История космонавтики	
ВЕДЕШИН Л.А., ГЕРАСЮТИН С.А. Россия – США: 50 лет сотрудничества в космосе	5, 6
ГЕКТИН Ю.М. Человек, позволивший нам увидеть другие миры	3
СОЛОВЬЁВ В.А., ЦЫГАНКОВ О.С. Реанимация орбитальной станции «Салют-7»	2
По выставкам и музеям	
СЕЛИВАНОВА О.В. «Per aspera ad astra»	4
Досье любознательных	
СОЛОМОНОВ Ю.В. Планета Марс на монетах мира. Часть 1	4
Литературный космос	
САЖИНА О.С. «Сезам». Рассказ о пилоте Пирксе	3
СИНЕЛЬНИКОВ М.И. Изменилось теперь ремесло звездочета...	4
Симпозиумы, конференции, съезды	
ПЕРОВ С.П. О влиянии космической погоды на атмосферу и климат Земли	4

EARTH & UNIVERSE

6 (348), 2022

November–December

TABLE OF CONTENT:

Dmitry A. KONONOV Editorial	3
Alexei S. NIKONOV The Greatest Eye In the Universe	5
Dmitry A. KONONOV The Point Turns Into the Shape, or How Does Doppler Tomography Work	28
Oleg Yu. TSUPKO Black Holes' Shadows: In Search For the Black Cat in Dark Space	38
Observatories, Institutes	
Sergey A. GREBENEV, Rashid A. SUNYAEV Twenty Years of Integral Observatory	49
XXI Century Cosmonautics	
Igor A. LISSOV Kuafu Chases the Sun	65
In Memoriam	
Mikhail V. SAZHIN, Olga S. SAZHINA Valery Rubakov. In Memory Of Our Colleague and Friend	74
History of Cosmonautics	
Leonid A. VEDESHIN, Sergey A. GERASYUTIN Russia — the USA: Fifty Years of Collaboration in Space. Part 2	79
People of Science	
Vladimir G. SHAMAEV The Great Attractor of Information. To the 100 th Anniversary of Inna Scherbina-Samoilova (1922–2003)	93
Sergey A. GERASYUTIN In Memory of Valery Polyakov	101
Earth & Universe Index 2022	112
Table of Content and Selected Abstracts	114

EARTH & UNIVERSE

6 (348), 2022

November–December

The Greatest Eye In the Universe

Alexei S. NIKONOV

Max Planck Institute for Radio Astronomy, Germany

DOI: 10.7868/S0044394822060019

Black holes were pretty exotic and hypothetical objects. A century ago there was no hope observing this type of objects due to their low luminosity and small angular sizes. Everything changed in 2019 when the humanity obtained the first image of a black hole shadow that proved the existence of supermassive black holes. An article will answer the questions: how radio astronomy achieved this breakthrough, and how to build a telescope with a size of Moon's orbit.

The Point Turns Into the Shape, or How Does Doppler Tomography Work

Dmitry A. KONONOV

Institute of Astronomy, Russian Academy of Sciences

DOI: 10.7868/S0044394822060020

In this paper I review the method of Doppler tomography proposed by T. Marsh and K. Horne for indirect mapping of gaseous flows in the cataclysmic variable stars. These stars are compact binaries with mass transfer between the components. Theoretical studies predict various gaseous structures in the systems as streams, accretion disks, shock waves, etc. Unfortunately, the cataclysmic variables are rather compact and distant, which make them unavailable for direct imaging. This is where Doppler tomography comes into play helping us see the mentioned structures and compare our observations with theoretical predictions in a more friendly and illustrative manner than, say, analyzing original spectra or light curves.

Black Holes' Shadows: In Search For the Black Cat in Dark Space

Oleg Yu. TSUPKO

Institute for Space Research, Russian Academy of Sciences

DOI: 10.7868/S0044394822060032

Black holes are on the top of the list of the most popular space objects. Not only astrophysics are interested in their properties, but general public as well, including school students, amateur astronomers, and other people, curious for everything unexplored. Even though black holes are invisible in the common sense of the word, they manifest themselves by the influence upon their environment. Today scientists dispose of convincing, albeit indirect, evidences in favour of their existence. But in 2019 something really new happened in that field of study — the public was presented with an image of a supermassive black hole. Such image is called *a black hole's shadow* and is essentially a direct and the most forceful proof of the existence of that object. The shadow of a black hole is a key to the secret how one can see the invisible. Hereunder we give a notion of a shadow and explain, how and what kind of information about the black hole we can get from these observations.

Индекс 38808

Земля и Вселенная, 6/2022

Заведующая редакцией А.Ю. Обод

Редакторы С.А. Герасютин, Д.А. Кононов, О.С. Сажина

Корректор С.О. Розанова

Верстка макета Н.В. Мелкова

Просим обращаться

по вопросам публикации материалов:

(495)276-77-35 (доб. 42-31), e-mail: zevs@naukaran.com

по вопросам сотрудничества:

(495)276-77-35 (доб. 43-01 или 43-02),

e-mail: journals@naukaran.com

Журнал зарегистрирован Государственным комитетом

Совета министров СССР по печати 28 июня 1991 г.

Свидетельство о регистрации № 2119

www.naukabooks.ru/zhurnali/katalog/zemlja-i-vselennaja/

Все права защищены.

Перепечатка материалов возможна только с разрешения редакции.

Мнение редакции может не совпадать с мнением автора.

Все иллюстрации в статьях предоставлены авторами.

*Ответственность за точность и содержание рекламных
материалов несут рекламодатели*

12+

Сдано в набор 10.10.2022 г. Подписано к печати 15.11.2022 г.

Дата выхода в свет 30.11.2022 г. Формат 70 × 100¹/₁₆

Цифровая печать Усл.печ.л. 9.75 Уч.-изд.л. 9.75 Бум.л. 3.75

Тираж 1000 экз. Заказ № 37 Цена свободная

Учредители: РАН, ФГБУ «Издательство «Наука»

Редакция и издатель: ФГБУ «Издательство «Наука»

Адрес: 117997 Москва, ул. Профсоюзная, 90

Отпечатано в типографии ФГБУ «Издательство «Наука»

Адрес: 121099 Москва, Шубинский пер., 6

АкадемКнига

Букинистический отдел осуществляет покупку и продажу научной литературы, книг по искусству, антикварных изданий, старинных открыток, гравюр и фотографий

Для оценки крупных библиотек выезжаем на дом

Принимаем заказы

Формируем библиотеки

Адрес: 101000, Москва, Б. Спасоглинишевский пер., 8, стр. 4

E-mail: bukinist@naukaran.com

Справки по телефону:

8 (495) 624-7219



издательство
НАУКА
— 1727 —



**НОВИНКИ И АКЦИИ
В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ**



vk.com/naukapublishers



t.me/naukapublishersru

издательство
НАУКА
— 1727 —

Типография ФГБУ «Издательство «Наука»
www.tnauka.ru

- ▶ Разумная ценовая политика
- ▶ Высокое качество продукции
- ▶ Реальные сроки выполнения заказов
- ▶ Работа высококлассных профессионалов



Удобное месторасположение
Тиражи от 20 экземпляров

- афиши
- календари
- удостоверения
- адресные папки
- визитные карточки
- фирменные бланки
- брошюры, журналы
- эксклюзивные издания
- полноцветные плакаты
- художественные альбомы
- книги в твердом переплете
- листовки, рекламные буклеты
- наклейки на бумажных материалах

Москва

Санкт-Петербург

